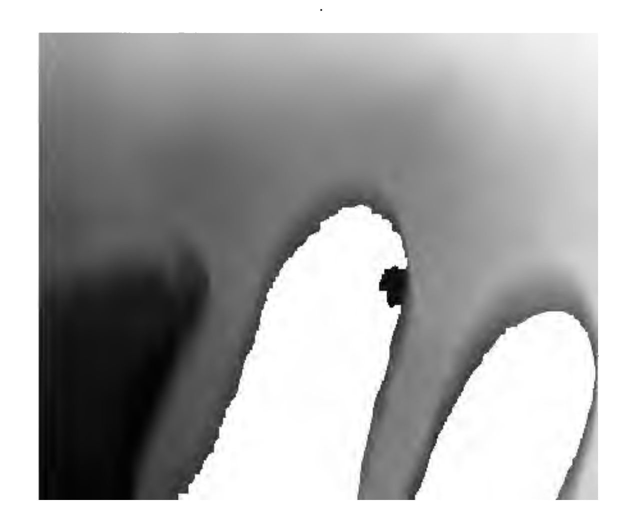


12,

fehlt Seiten: S. 609-622





THEORETISCHE

KINEMATIK

LEHRBUCH

DER

KINEMATIK

VON

PROF. F. REULEAUX
GEH. REGIERUNGS-RATH

ERSTER BAND

THEORETISCHE KINEMATIK

MIT EINEM ATLAS UND 452 IN DEN TEXT EINGEDRUCKTEN ABBILDUNGEN

BRAUNSCHWEIG
DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN
1875

THEORETISCHE
KINEMATIK

GRUNDZÜGE

EINER

THEORIE DES MASCHINENWESENS

VON

PROF. F. REULEAUX

GEH. REGIERUNGS-RATH

MIT EINEM ATLAS

UND

452 IN DEN TEXT EINGEDRUCKTEN ABBILDUNGEN

BRAUNSCHWEIG

DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN

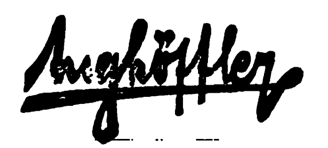
1875





THEORETISCHE

KINEMATIK



LEHRBUCH

DER

KINEMATIK

VON

PROF. F. REULEAUX

GEH. REGIERUNGS-RATH

ERSTER BAND

THEORETISCHE KINEMATIK

MIT EINEM ATLAS UND 452 IN DEN TEXT EINGEDRUCKTEN ABBILDUNGEN

BRAUNSCHWEIG

DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN

1875

THEORETISCHE
KINEMATIK

GRUNDZÜGE
EINER
THEORIE DES MASCHINENWESENS

VON

PROF. F. REULEAUX
GEH. REGIERUNGS-RATH

MIT EINEM ATLAS
UND
452 IN DEN TEXT EINGEDRUCKTEN ABBILDUNGEN

BRAUNSCHWEIG
DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN
1875

Abbildungen
aus dem xylographischen Atelier
von Friedrich Vieweg und Sohn
in Braunschweig

MEINEM VEREHRTEN FREUNDE

DEM

KÖNIGLICHEN OBERHOFBAURATHE UND PROFESSOR

HEINRICH STRACK

GEWIDMET

VORREDE.

In dem gegenwärtigen Werke lege ich dem Publikum eine Frucht langjähriger und umfangreicher Forschungen vor. Anfänglich rein auf denjenigen Theil der Maschinenwissenschaft gerichtet, welcher bei uns die Lehre von den Bewegungsmechanismen hiess, führten dieselben mich zu Gesetzen, welche sich als sehr umfassend und als diejenigen erwiesen, die der Bildung der Maschine im allgemeinen zu Grunde liegen; zugleich aber liessen sie erkennen, dass die bisher gebräuchliche Auffassung des Gegenstandes ungenügend sei und einer tiefgreifenden Umgestaltung bedürfe. Nachdem ich im Laufe der letzten Jahre eine Reihe von sachbezüglichen Abhandlungen in den Berliner Verhandlungen unter der Rubrik „Kinematische Mittheilungen“ hatte erscheinen lassen, fasse ich dieselben hier, zum Theil beträchtlich erweitert und um die Schlussabhandlung, Kap. XIII, vermehrt, als „Grundzüge einer Theorie des Maschinenwesens“ zusammen.

Eine eigentliche Theorie des Maschinenwesens gab es nämlich bisher nicht. Zwar besitzen und lehren wir die Theorien der einzelnen Maschinen, zwar zeigen wir die Anwendungen der wissenschaftlichen Mechanik auf die Maschine, zwar ist sogar die Dimensionsbestimmung, wie auch die Darstellung der Maschine methodisch ausgebildet, allein die Grundgesetze, welche allen Maschinen hinsichtlich ihrer Bildung gemeinsam sind, hatte man

bisher nicht festgestellt. Trotz zahlreichen und auch vielseitig fruchtbaren Bestrebungen in dieser Richtung, von denen ich in der Einleitung einen Ueberblick gebe, war man zu dem eigentlichen Ziele, zu einer wahrhaft deduktiven Behandlung der Maschine, nicht gelangt. Dabei haben sich indessen die theoretischen Anschauungen der einzelnen Fälle mit ihrem vorwiegend mathematischen Apparate beträchtlich ausgebildet und vermöge dieses Umstandes die Meinung hervorgerufen, als befinde man sich thatsächlich im Besitze der Theorie. So ist es denn gekommen, dass sich der heutige, sehr merkwürdige Zustand der wissenschaftlichen Seite des Maschinenwesens herausgebildet hat.

Dieser Zustand ist im grossen Ganzen folgender. Der Stoff wird theils encyklopädisch, theils in Unterordnung unter die Mechanik, die darstellende Geometrie und die Zeichenkunst, zu kleinem Theile auch selbständig, aber ohne die Stütze allgemeiner Grundsätze, theils endlich geradezu empirisch gelehrt. Von Axiomen wird nicht ausgegangen, vielmehr wie mit einem Sprunge mitten in den Stoff hineingesetzt, auf dem übersprungenen Gebiete aber, welches offenbar das axiomatische ist, ein dichter Schleier belassen. Letzterer Umstand ist in Folge der vielfachen Ablenkung durch die praktischen Aufgaben der Beachtung allmählich ganz entgangen, ja es hat sich, da die Sache auch ohnedies nicht stille steht, eine förmliche Gleichgültigkeit hinsichtlich dieses Punktes eingestellt.

Hier lege ich nun dennoch einen Versuch vor, jenen Schleier zu lüften. Wenigstens glaube ich, die Grundzüge einer das ganze Maschinenwesen umfassenden Theorie aufzeigen zu können. Ich möchte dem Maschinenmechaniker die von ihm auszuführenden Denkoperationen zum vollen Verständniss bringen; ich möchte an die Stelle einer unbestimmten, vielfach zufälligen Auffassung eine bestimmte wissenschaftliche setzen, möchte der wissenschaftlichen Klarheit und Behandlung ein Gebiet gewinnen, zu welchem ihr bisher der Zugang versagt schien. Diese Aufgabe erscheint mir so wichtig, dass ich, trotz dem Bewusstsein von der Unvollkommenheit des Erreichten, es gewagt habe, mit dem Versuche hervorzutreten.

Es sind also nicht neue Naturgesetze, nicht ein bisher unerforschter Zusammenhang von Erscheinungen in dem grossen Räthsel der Schöpfung, was ich dem Leser vorzuführen habe. Es ist vielmehr der Nachweis von Gesetzen, denen man auf einem bekannten und vielfach bearbeiteten Felde geistiger Thätigkeit zu folgen habe, der Nachweis von dem Zusammenhange der Resultate verschiedener Denkprozesse auf diesem einen Felde, auf welchem man unbewusst, aber deshalb auf Umwegen und langsam, nach Gesetzen verfuhr, denen man sich, eben weil sie wahre Gesetze sind, nicht entziehen konnte, zugleich eines Gebietes, auf welchem die Fachmänner das Bedürfniss einer neuen theoretischen Grundlegung kaum empfanden. Dieser letztere Umstand wird sich dem Eingange der hier vorzuführenden Anschauungen einigermaassen widersetzen. Doch nehme ich an, man werde sich nicht ernstlich dadurch von ihrer Prüfung abhalten lassen. Denn im Verlaufe des Werkes wird der Beweis, wie ich hoffe, überzeugend geführt, dass die Erkenntniss der wahren Bildungsgesetze der Maschine für die Fortentwicklung des Maschinenwesens von der grössten Wichtigkeit ist.

Was ich Neues in meinem Buche vorführe — und ich glaube behaupten zu dürfen, dass vieles davon auch brauchbar sein werde — liegt fast ganz, sei es direkt oder sei es indirekt, auf dem logischen und philosophischen Gebiete, namentlich dem ersteren. Ich will gestehen, dass ich dessen mehr noch nach Vollendung des Werkes, als bei dessen Ausarbeitung inne wurde. Wie es gekommen ist, dass in der bisherigen Behandlung eines so wichtigen Gegenstandes, wie des Maschinenwesens, so bedeutende Lücken in logischer Beziehung bestehen bleiben konnten, sei dahingestellt. Es kann die Folge des Verfalls des philosophischen Studiums sein, den wir in den letzten Jahrzehnten erlebt haben und soeben wieder einem beginnenden Aufleben weichen sehen; umgekehrt kann auch in der verhältnissmässigen Jugendlichkeit der polytechnischen Wissenschaften die Ursache gesucht werden. Vielleicht, oder wahrscheinlich, wirkten beide Ursachen vermöge ihres verhängnissvollen Zusammentreffens gleichzeitig ein. Genug, die bestimmenden Einflüsse waren ausreichend, um es ganz statt-

haft und behaglich erscheinen zu lassen, wenn in Kreisen der prak tischen wie theoretischen Maschinenkundigen die Philosophie und gleich in einem hin die wissenschaftliche Logik gering geschätzt oder auch verspottet wurde. Das exakte und eingehende Spezialstudium, verbunden mit dem sogenannten gesunden Menschenverstande, sollte ausreichend sein. Wie häufig man gerade den letzteren mit dem Spotte traf, indem die wissenschaftliche Logik doch nichts sein will, als der geordnete gesunde Menschenverstand, und wie inzwischen das Philosophische und die Logik in den eigenen wissenschaftlichen Gebieten verfielen, wurde nicht bemerkt. Dass aber dem möglichst bald ein Ende gemacht werden sollte, ist meine feste Ueberzeugung. Wir haben uns von dem Zuge der Spezialisirung, welcher unbemerkt eine Entfremdung der Wissenschaften von ihren Urquellen bewirkt, viel zu weit fortreissen lassen. Es wird hierüber auch auf anderen Wissenschaftsgebieten geklagt; auf dem polytechnischen liefert aber die Literatur nur zu häufig den Beweis, wie sehr Mommsen Recht hatte, als er an dem heurigen Stiftungstage der Akademie der Wissenschaften sagte: „sie (die Spezialisten) halten nur zu leicht für einen Kreis, was nur ein Kreissegment ist!“

Mit allem wissenschaftlichen Ernste sollte der wachsenden Vereinzelung und zugespitzten Detaillirung nicht sowohl der Forschung, als der lehrhaften Verwerthung derselben Einhalt gethan, dafür aber die Zurückbeziehung der einzelnen Erscheinungen auf grosse Grundwahrheiten erstrebt werden. Dem ins Maasslose anwachsenden Ziffern- und Formelwesen sollte man meines Erachtens Zügel anlegen, dagegen auf die Erweckung der selbständigen Behandlung des Spezialfalles aus allgemeinen Gesetzen hinarbeiten.

Ich gebe zu, dass dieses alles sehr schwer ist. Aber ebenso wenig, als man einen Königsweg zur Geometrie zugibt, kann die Schwierigkeit einer wahrhaft fördernden wissenschaftlichen Auffassung als Grund ihrer Nichtinnehaltung angeführt werden. So fordert denn auch mein Buch von seinem Leser ein ernstes und strenges Eingehen auf die den Erscheinungen zu Grunde liegenden Gesetze, gibt ihm indessen schliesslich eine Einsicht in das

Wesen der Maschine, welche auf dem bisherigen Wege nicht erworben werden kann. Ich habe mich aufs äusserste bemüht, die Schwierigkeiten durch sorgfältige Entwicklung und deutliche Darstellung zu vermindern. Wo mir dies nicht genügend gelungen ist, möge entschuldigen, dass vielfach die Hindernisse wirklich ungemein gross waren, namentlich da, wo der ganze ältere Aufbau wegzuräumen und dafür Neues aufzurichten war. Dieses hat ausserdem dem Buche stellenweise einen polemischen Karakter aufdrücken müssen, da an vielen Punkten die mächtigsten Autoritäten hinter Ansichten stehen, welche ich zu verwerfen gezwungen war. Bei näherer Prüfung wird man indessen erkennen, dass nur die Nothwendigkeit, das neue Lehrgebäude sicher zu begründen, der Anlass war, fremde Ansichten zu bekämpfen. Uebrigens habe ich solche polemische Fragen, welche vorzugsweise den Fachschulmann interessiren, nebst anderem Esoterischem in die Anmerkungen am Schlusse des Bandes verwiesen.

Soviel im allgemeinen. Zum Inhalte der einzelnen Abschnitte übergehend, hebe ich hervor, dass das erste Kapitel die grundlegenden Sätze: das Bestehen der Maschine aus Paaren von Elementen und das Zusammentreten der Elementenpaare zu Verbindungen, die ich kinematische Ketten nenne, enthält. Es wird dann alsbald gezeigt, wie und nach welchem Gesetze aus der kinematischen Kette der Mechanismus, und aus diesem die Maschine entsteht. Die folgenden vier Kapitel sind der Erklärung und dem weiteren Ausbau der Sätze von den Elementenpaaren und kinematischen Ketten gewidmet.

Eine wichtige und logisch folgenreiche Auffassung ist die in Kapitel IV entwickelte von den bildsamen Elementen. Unter diese fallen neben den Bändern, Seilen, Ketten u. s. w. auch die Flüssigkeiten, tropfbare wie gasförmige. Ich fasse die in einer Maschine zur Wirkung kommende Flüssigkeit als ein Ganzes, als eine geometrisch begrenzte Menge von Stofflichem, kurz als einen Körper auf. Hierdurch ergeben sich, namentlich für die später folgenden Untersuchungen, ganz besondere Vortheile. Sollte der Leser anfangs die ungewohnte Betrachtungsweise auffallend finden, so wolle er nur bedenken, dass wir im Grunde genommen bei den

sogenannten festen Körpern ähnlich verfahren; wir lassen bei diesen die Art, wie ihr stofflicher Inhalt innerhalb seiner Grenzen gehalten wird — ob durch innere Anziehungen, ob durch äussere Kräfte — ausser Betracht, so lange uns nicht bestimmte Veranlassungen hierzu vorliegen. Bisher aber behandelte die Maschinenlehre das Wasser, den Dampf, die Gase wesentlich als Stoffe, als Materien, beschäftigte sich gleich von vornherein und überall mit der Aufeinanderwirkung ihrer kleinsten Theilchen, d. h. sie verharrte auf dem physikalischen Gebiete, und drang nicht mit Freiheit bis zu dem Punkte vor, den sie bei den festen Körpern von selbst einnahm. Somit darf ich das von mir eingeschlagene Verfahren als die blosse Durchführung eines an anderen Stellen bereits eingebürgerten bezeichnen.

In Kapitel VI habe ich den Versuch gemacht, die Entstehung und allmähliche Vervollkommnung der Maschine als eines Erzeugnisses des menschlichen Geistes in allgemeinen Zügen darzustellen, sowie das Gesetz der stattgehabten Entwicklung zu ermitteln. Zugleich suchte ich hierbei die allgemeinen Beziehungen, in welchen die Maschine zum Menschen und zur menschlichen Thätigkeit im Ganzen steht, ins Licht zu setzen, indem mir dies für das vollständige wissenschaftliche Verständniss der Maschine unentbehrlich schien. Auch wollte ich zugleich den Versuch machen, die Verbindung zwischen der Maschinenwissenschaft und der Gesammtheit der übrigen Wissenschaften wieder anzuknüpfen, eine Verbindung, welche in Folge des Spezialisirungszuges dem völligen Schwinden nahe war. Zur Abfassung einer wirklichen Entwicklungsgeschichte der Maschine, für welche das Material einstweilen noch nicht vollständig vorhanden ist, gibt der Abschnitt vielleicht Anregung.

Das folgende Kapitel, das siebente, ist der Aufstellung einer wissenschaftlichen Zeichensprache für die Kinematik gewidmet. Ich trete damit gänzlich aus dem bisher Ueblichen heraus, und muss besorgen, dass mancher Leser auf den ersten Blick darin eine Sonderbarkeit erblicken werde. Dem gegenüber kann ich nur auf die Erfolge verweisen, welche sich aus der Anwendung der Zeichensprache in den folgenden Kapiteln ergeben. Ich glaube,

dass diese überzeugend sind, und dass, eben so wenig wie jetzt die Chemie, in Zukunft die Kinematik der Zeichensprache wird entrathen können. Eine Bitte habe ich hieran zu knüpfen. Es ist die, dass man die von mir gewählten Zeichen für die Elemente nicht willkürlich abändern wolle. Ich habe Jahre zu deren Auswahl und Feststellung gebraucht und danach getrachtet, sie so zu wählen, dass sie, ähnlich den chemischen Zeichen, für die grossen Kultursprachen ungefähr gleichgut brauchbar sein möchten. Sollte mir dies aber auch nur unvollkommen gelungen sein: ihre Brauchbarkeit würde empfindlich geschädigt werden, wenn Abänderungen vorzeitig versucht werden sollten.

Die Kapitel VIII bis XII sind der kinematischen Analyse, und zwar der Analysirung von Mechanismen, Maschinentheilen und vollständigen Maschinen gewidmet. Bei der Besprechung der vollständigen Maschinen entwickelt sich aus der theoretisch strengen, abstrakten Analysirung zugleich eine unmittelbar anwendbare, allgemeine analytische Darstellung der einzelnen Maschinen; ich habe dieselbe die beschreibende Analysirung genannt und halte sie einer baldigen Einbürgerung für fähig, da sie, wie ich glaube, eine oft empfundene Lücke ausfüllt. Die Pumpwerke und vor allem die Dampfmaschine treten bei diesen Untersuchungen in ein helles und wohl unerwartetes Licht. Man wird nicht leugnen können, dass die vorzugsweise physikalische Auffassung, welche wir bisher für die Dampfmaschine in uns trugen, diese Maschine mit einer Art geheimnissvoller Glorie umhüllt gelassen hat. Daneben freilich kommt sie dem Maschinenbauer mitunter so unleugbar einfach vor, dass er glaubt, das Verständniss ihrer Erfindung mit Händen greifen zu können; in anderen Fällen wieder, wenn die Fragen mehr verallgemeinert werden und sich auf die „rotirenden“ Maschinen und andere Abarten mit erstrecken, verliert sich die Idee aufs neue ins Unbestimmte und Erstaunliche. Von dieser sie umwebenden Ungewissheit machen die hier vorgelegten Untersuchungen die Maschine, wie ich glaube, gänzlich frei. Ich entkleide dieselbe des Wunders oder doch Verwunderlichen, das ihr anhaftet. Allein sie verliert hierbei meines Erachtens nicht, vielmehr wird sie durch die wissenschaftliche Klarheit, in

welcher sie sich darstellt, wohl nur gehoben. Dass bei der ruhigen hellen Beleuchtung, welche sie nun trifft, eine grosse Anzahl ihr anhängender Erfindungen sich auf wenige einfache Sätze zurückführen lassen und an Bedeutung einiges einbüssen, wird man nur vorübergehend bedauern können.

An dem Schlusse des zwölften Kapitels habe ich den Versuch gemacht, aus den gewonnenen Grundsätzen heraus die Stellung anzugeben, welche die Maschinenwissenschaft gegenüber der Arbeiterfrage einnehmen sollte. Auch hier sind der Berührungspunkte mit anderen Wissensgebieten viele. Das Eingreifen des Maschinenwesens ins praktische Leben, jedem Industriellen fühlbar und Gegenstand der lebhaftesten Erörterungen auf anderen Gebieten, hatte bisher auf dem maschinenwissenschaftlichen Felde eine eingehende Behandlung nicht gefunden. Vielleicht regt mein Versuch zu einer regeren Auffassung an.

Das letzte Kapitel behandelt die kinematische Synthese, das ist die synthetische Aufsuchung von Elementenpaaren, kinematischen Ketten, Mechanismen und Maschinen. Indem ich diese Aufgabe, welche sich in der Einleitung des Buches schon als Ziel zeigt, aufgegriffen habe, that ich wohl den weitesten und, wie ich mir bewusst bin, auch gewagtesten Schritt in der ganzen Reihe der angestellten Untersuchungen. Ich glaube indessen einige Resultate desselben aufgewiesen zu haben, welche das weitere Verfolgen des eingeschlagenen Weges empfehlen, muss freilich das Urtheil den Lesern überlassen. In einem Punkte möchte ich mich sogar rechtfertigen. Es ist der folgende.

Wenn ich zu zeigen versuche, dass und wie auf wissenschaftlichem Wege neue Mechanismen und neue Maschinen gebildet werden können, so denke ich nicht daran, dadurch den Werth der Erfindung auf dem Maschinengebiete herabzusetzen. Ich suche nur dem erfinderischen Kopfe neue und wirksame Mittel zu liefern, ich möchte seine geistige Thätigkeit beschleunigen, aber ich setze diese nicht herab. Dem Genie, welches, ohne die Regel zu kennen, grosse Schritte thut, habe ich überall in meinem Buche Gerechtigkeit widerfahren lassen. Den Erfinder achtet nur der gering, der selbst nichts erfunden hat, d. h. der die geistige

Anstrengung dessen nicht kennt, welcher in unausgesetzter Konzentration auf die Aufgabe, dem gegen Strom und Wind ankämpfenden Schiffer gleich, weiter strebt, und dabei, ohne es zu ahnen, auch auf schon früher Gedachtes stossen kann. Oft wird ihm dies achselzuckend zum Vorwurf gemacht; allein letzteres ist leichter, als einen der verfehlten Forschungsschritte selbst machen. Von dem theoretisch angegebenen Mechanismus bis zur brauchbaren Maschine ist unter den meisten Umständen noch ein weiter Weg, wie ich unter anderem am Schlusse des ersten Kapitels ausgeführt habe. Den Erfinder hierbei zu unterstützen, halte ich für Pflicht.

Aus diesem Grunde bin ich für meine Person ein Anhänger des Patentschutzes. Ich glaube dies hier aussprechen zu müssen, um nicht in die Gefahr zu gerathen, wegen meiner Synthese der Maschine des Gegentheils bezichtigt zu werden. Die Patentfrage halte ich in erster Linie für eine praktische Frage. Ebensowohl wie der Staat durch Ertheilung vortheilhafter Konzessionen das Kapital z. B. dem Eisenbahnbau zuleitet, sollte er meines Erachtens durch einen gesetzlichen Schutz, der ja doch nirgend für eine übertriebene Dauer begehrt wird, der jungen Erfindung das zu ihrer Ausbildung immer unentbehrliche Kapital zugänglich machen. Bei uns in Deutschland flieht das Kapital die Erfindung, während dasselbe in Ländern, welche sich einer brauchbaren Patentgesetzgebung erfreuen, ihr gerne zu Gebote gestellt wird. Darum aber haben wir in Deutschland leider einen so wenig intensiven Fortschritt im Maschinenwesen zu verzeichnen, obwohl wir eine grössere Menge wissenschaftlich ausgerüsteter Techniker erziehen, als irgend ein Land; darum werden uns neue Maschinen, den Moden gleich, überwiegend nur vom Auslande zugeführt; darum gehört bei uns meist ein an geschäftlichen Leichtsinn streifender Muth dazu, eine Erfindung bis zur praktischen Durchführung entwickeln zu wollen; darum finden wir in Deutschland, wo ja einmal ein Fabrikant ein solches Wagniss unternimmt, das Fabrikgeheimniss ausgebildet, das in der letzten Zeit in bedenklicher Weise an Umfang gewinnt; darum blüht bei uns die verschlechternde Nachahmung guter Erfindungen, eine der gefähr-

lichsten Wucherpflanzen der Industrie, welche sowohl das Publikum schädigt, als die wirklich gute Erfindung um ihren Kredit bringt; darum endlich fehlen uns thatsächlich eine Menge guter Einrichtungen, indem auch der fremde Patentträger die Einführung seiner Erfindung bei uns nicht als lohnend erkennt.

Diejenige volkswirthschaftliche Schule, welche bei uns seit einem halben Jahrhundert der völligen Aufhebung jedes Patentschutzes, auch des kümmerlichen Restes, den wir noch besitzen, mit Erfolg zugestrebt hat, womit sie der Industrie wahrhaft zu dienen glaubte, muss jetzt zugestehen, dass sie mit ihrem Latein zu Ende ist, indem das Experiment die erhoffte Folge nicht gehabt hat. Möchten die erleuchteten Pfleger der deutschen Gewerbegesetzgebung dieser Ueberzeugung sich nicht verschliessen; tausend Blicke sind deshalb erwartungsvoll auf sie gerichtet.

Indem ich nach dieser Abschweifung wieder zu meinem Buche zurückkehre, habe ich in Bezug auf die Gesammtheit des Dargelegten zu bemerken, dass ich den Stoff als ein untheilbares Ganzes aufgefasst habe. Die einzelnen Kapitel, Sätze und Schlussfolgerungen beziehen sich eng aufeinander. Dieser Umstand ist vielleicht dazu angethan, vorerst die Aufnahme des Buches zu erschweren, da in diesem so viel Ungewohntes auf einmal erfasst werden soll. Allein ich hätte zu viele Beweise der Richtigkeit einzelner Sätze schuldig bleiben müssen, wenn ich einen andern Weg gegangen wäre. Daneben habe ich aber die Methode befolgt, nicht sowohl aus den höchsten allgemeinen Lehrsätzen diejenigen für den besondern Fall zu entwickeln, als vielmehr vom Leichteren zum Schwereren voranzuschreiten, und die allgemeinsten Sätze ganz ans Ende zu stellen. Ich hoffe, mich in der Annahme nicht zu täuschen, dadurch das Studium wieder erleichtert, und auch demjenigen, der nicht unmittelbar dem Fache angehört, das Verständniss der vorgetragenen Theorie zugänglich gemacht zu haben. Ich schliesse mit dem Wunsche, es möchte gefunden werden, dass das unausgesetzte Streben nach der Wahrheit der oberste Leitstern der hier niedergelegten Untersuchungen gewesen ist.

Berlin, im November 1874.

Der Verfasser.

INHALT.



EINLEITUNG.



Die nachfolgenden Untersuchungen haben den Zweck, die allgemeinen Gesichtspunkte, unter welchen die Maschine in die Erscheinung tritt, aufzufinden, um das Gesetzmässige in der grossen Mannigfaltigkeit, die sich dabei darbietet, festzustellen. Sie sind daher Grundzüge einer Theorie des Maschinenwesens genannt. Die gesammte Lehre von der Zusammensetzung der Maschine, die Maschinen-Kinematik oder Maschinen-Getriebelehre, lässt sich nämlich in zwei gesonderte Theile zerfällen, von denen der erste die theoretische, der andere die angewandte Maschinen-Kinematik umfasst. Der theoretische Theil ist derjenige, welcher den Gegenstand dieser Schrift ausmacht. Er beschäftigt sich vorwiegend mit der Feststellung der Begriffe, welche den Anwendungen der Lehre zu Grunde liegen, und weicht von dem bisher Gebräuchlichen grossentheils wesentlich ab.

Da es sich somit hier vorwiegend um theoretische Untersuchungen handelt, scheint es, als dürfte ich auf anderes Interesse, als dasjenige der Theoretiker des Faches vorerst kaum rechnen. Indessen sind ja Theorie und Praxis nicht, wie oft stillschweigend angenommen wird, Gegensätze; das Theoretische ist nicht nothwendig unpraktisch, das Praktische nicht nothwendig unwissenschaftlich, obwohl beides vorkommen kann; vielmehr kann das wahrhaft Praktische in einem wissenschaftlich aufgeschlossenen Thätigkeitsgebiet nicht anders als mit der Theorie übereinstimmen, wenn letztere richtig ist. Jener so populäre Gegensatz ist derjenige der Empirie gegen die Theorie. Dieser wird immer bestehen bleiben und zwar je weiter die Theorie sich ausbildet, um so mehr zum Nachtheil des empirischen Verfahrens bei seinem Wettstreit mit dem theoretischen. Dieses letztere kann darum dem strebsamen theoretisch gebildeten Praktiker niemals gleich-

gültig sein; indessen könnte er sich immerhin noch einige Zeit zuwartend verhalten. Die theoretischen Fragen aber, um welche es sich hier handelt, sind tief eingreifender Natur; deshalb hege ich die Hoffnung, dass neben den Theoretikern auch die praktischen Fachmänner von der neuen Richtung Einsicht nehmen möchten, und bin ihnen beiden gleichmässig schuldig, die Gründe darzulegen, warum ich die gebräuchlichen Anschauungen verlassen habe, und sie durch andere ersetzen möchte.

Wenn ich den Versuch unternehme, die Theorie der Zusammensetzung der Maschine auf neue Grundlagen zu stellen, so geschieht es in der Ueberzeugung, dass dies überhaupt nur dann der Mühe lohne, wenn es einen wirklichen Nutzen für das Verständniss der Maschine gewährt. Einen solchen glaube ich aber mit Zuversicht versprechen zu dürfen. Wer die Maschine besser versteht, wer ihrem inneren Wesen näher getreten ist, vermag mehr mit ihr und durch sie zu leisten. Es darf sich nicht bloss darum handeln, das Bekannte und oft Besprochene in neuer Form, neuer Ordnung vorzuführen, eine neue Eintheilung, eine neue Nomenklatur für die alten hinzusetzen. Vielleicht würde sich nach solchen Verbesserungen der Stoff bequemer oder eleganter lehren lassen; aber für den praktischen Gebrauch könnte man sich immerhin noch eine Zeitlang mit dem Alten behelfen. Nein, die neue Theorie muss, wenn sie Anspruch auf allgemeineres Interesse haben will, befähigen, etwas Neues zu leisten; sie muss Aufgaben lösbar machen, welche bisher auf systematischem Wege nicht zu lösen waren. Man darf sagen, dass dies der Fall sein wird, wenn es gelingt, die Maschinen-Kinematik bis zu den einfachsten Sätzen herab wirklich wissenschaftlich zu gestalten.

Zwar ist auch bisher an derselben in einem gewissen Sinne wissenschaftlich gearbeitet worden, nämlich in soweit als einzelne ihrer Theile sich der mathematischen Behandlungsweise darboten. Allein dies betraf, wie gesagt, nur Theile, nicht das Ganze, und auch nicht das eigentliche Wesen der Disziplin; und die Wissenschaftlichkeit der Behandlungsweise gehört der Mathematik und der Mechanik, nicht aber der Kinematik an. Diese letztere ist in ihrem Kern, in ihren eigentlichen Grundlagen, bisher unklar geblieben oder doch nur zufällig an einzelnen Punkten erhellt worden. Sie gleicht dem Baume, der in einem dunkeln Thurme heraufgewachsen ist, und seine Aeste wo er kann herausstreckt; diese sind, da sie Luft und Licht geniessen konnten, belaubt und

blühend, der Stamm aber hat nur verkümmerte Zweige und vereinzelte Blattknospen aufzuweisen.

Die erwähnten mathematischen Untersuchungen erforschen mit dem mitgebrachten Apparat einer grossen Wissenschaft die Eigenschaften des gegebenen Mechanismus, und haben in dieser Richtung reiches Material aufgehäuft, welches fernerhin nicht nur brauchbar bleibt, sondern an Werth sogar gewinnt; das unerforschte Gebiet ist aber der andere, unstreitig tiefere Theil der Aufgabe, die Frage: wie ist man zu dem Mechanismus, wie zu seinen Elementen gelangt? Was ist das Gesetzmässige in dem Verfahren, einen Mechanismus zu kombiniren? Gibt es überhaupt hier eine Gesetzmässigkeit? Oder hat man nur einfach das entgegenzunehmen, was uns die Erfindung überliefert hat, und bleibt als wissenschaftliche Aufgabe nur die Analysirung des so Erhaltenen, das gleichsam naturhistorische Verfahren übrig?

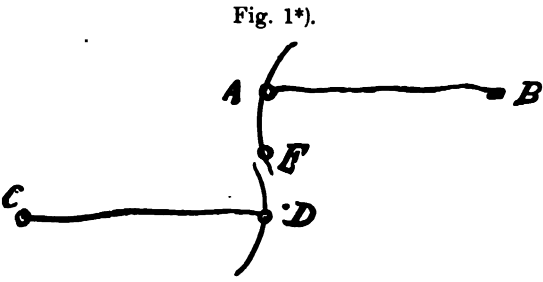
Bisher wurde so zu sagen ausschliesslich nach der letzteren Ansicht verfahren; von einem Eindringen hinter das „Gegebene“ sind nur Spuren vorhanden. Demzufolge hat sich auf dem Forschungsgebiete des Maschinenwesens der eigenthümliche Zustand entwickelt, dass mit hoch ausgebildeten Hilfsmitteln an den Resultaten menschlicher Erfindung, also menschlicher Denkkraft, gearbeitet wird, ohne dass man die Denkprozesse, welche das Objekt selbst geliefert haben, kennt. Mit dieser sonderbaren Unhomogenität, welche man auf anderen Gebieten des exakten Wissens sich nicht leicht verzeihen würde, findet man sich dadurch ab, dass man das Erfinden als eine Art Offenbarung, als Folge höherer Eingebung, wenn auch nicht gerade immer bezeichnet, so doch stillschweigend anerkennt. Es begründet für jemanden eine besondere Art von Respekt, wenn man von ihm sagt, er habe diese oder jene Maschine erfunden. Sollen wir die erfundene Sache forschend kennen lernen oder lehren, so überspringen wir den Gedankengang der Entstehung und gehen angeblich sofort *in medias res.*

Wenn wir z. B. die bekannte Gelenkgeradführung von Watt, welche er für seine Dampfmaschine erfand, oder die von Evans, die von Reichenbach u. s. w., nach den bisherigen Methoden betrachten, so finden wir, nachdem wir sie klassifizirt, nichts anderes zu thun, als die Bewegungsgesetze zu ermitteln, welchen diese Mechanismen gehorchen, ihre günstigste Konstruktion festzustellen, und, wenn es hoch kommt, ihre gegenseitige nähere Ver-

wandtschaft zu beleuchten. Wie aber die Erfinder zu denselben gelangten, lassen wir unerörtert, vorbehaltlich des Gefühlsinteresses, welches wir für diesen Punkt mitbringen. Wir belauschen wohl mitunter gern das Genie in seiner Gedankenwerkstatt, aber doch mehr aus Neugier, als um zu forschen. Und doch scheint es nach dem Obigen, als müssten wir hier um einen wesentlichen Schritt weiter kommen können. Versuchen wir's.

Watt hat uns in Briefen einige Andeutungen über den Gedankengang, welcher ihn gerade zu dem oben angeführten Mechanismus leitete, hinterlassen. „Die Idee," so schreibt er im November 1808 an seinen Sohn, „entstand in folgender Weise. Da ich die doppelten Ketten oder die Zahnbogen und Zahnstangen sehr ungeeignet dazu fand, die Bewegung der Kolbenstange auf die Winkelbewegung des Balanciers zu übertragen, gieng ich ans Werk zu versuchen, ob ich nicht Mittel und Wege finden könne, dasselbe durch Bewegungen um Achsen zu ermöglichen,

Fig. 1*).



und nach einiger Zeit fiel mir ein, dass, wenn AB und CD zwei gleiche Radien sind, welche sich um die Mittelpunkte B und C drehen, und durch eine Stange AD verbunden sind, bei der Bewegung durch Bogen von gewisser Länge gleiche und entgegengesetzte Abweichungen von der geraden Linie haben würden, und dass der Punkt E eine nahezu gerade Linie beschreiben würde, sowie dass, wenn der Radius CD der Zweckmässigkeit halber nur halb so gross wie AB gemacht wäre, dasselbe stattfände, wofern man den Punkt E näher nach D rückte, und hieraus wurde die Konstruktion, welche man später die Parallelbewegung genannt hat, abgeleitet. Obgleich ich nicht übertrieben ruhmbegierig bin, so bin ich doch stolzer auf die Parallelbewegung, als auf irgend eine andere mechanische Erfindung, welche ich jemals gemacht habe."

*) Facsimile aus Watt's Brief.

So interessant dieser Brief ist, so enttäuscht er bei näherer Prüfung uns wohl ebenso, wie er den Fragesteller enttäuscht haben mag. Wir erfahren wohl die Motive und einige Endresultate der suchenden Anstrengungen, bekommen aber nichts von einem methodischen Gange zu hören. Man hat übrigens zu bedenken, dass die Schilderung 24 lange Jahre nach der Erfindung gemacht ist, dass also Reflexion und Erinnerung ineinander gegriffen haben müssen, Unmittelbarkeit demnach nicht möglich war. Weit lebendiger äussert sich Watt in einem Briefe an Boulton 1784, wo er diesem die erste Idee mittheilt:

„Ich habe ein neues Wild auf dem Korn," schreibt er. „Ich habe den Schimmer von einer Methode, nach welcher eine Kolbenstange veranlasst werden kann, senkrecht auf und nieder zu gehen, indem man sie bloss an einem Stücke Eisen am Balancier befestigt, ohne Ketten, ohne senkrechte Schienen, oder lästige Reibungen, Bogenköpfe oder andere schwerfällige Stücke, durch welche Vorrichtung, wenn sie völlig der Erwartung entspricht, gegen 5 Fuss an der Höhe des Maschinenhauses bei 8 Fuss Hub erspart werden wird, was ich als eine wesentliche Ersparniss ansehe; und sie kann so gut für doppeltwirkende als für einfachwirkende Maschinen gebraucht werden. Ich habe erst ein kleines Modell versuchsweise ausgeführt, nach welchem noch nicht gebaut werden kann ..... doch bitte ich, nichts von der Sache zu sagen, bis ich die Patentspezifikation einreiche" [1]).

Sieht man sich die angezogene Patenterläuterung näher an, so findet man darin nicht weniger als sechs Methoden der Geradführung aufgeführt, darunter auch die obigen gescholtenen „Schienen", „Bogenköpfe" u. s. w.; zwei der Methoden fallen auf die beiden Formen, welche unser Mechanismus annehmen kann. Merkwürdigerweise ist eine von den sechsen, die zu dem eigentlichen Wattischen Lenker überleitet, die Reichenbach'sche Geradführung. Watt hat dieselbe offenbar nicht erkannt; sie ist ihm später wieder völlig entschlüpft, was man begreift, wenn man die Zusammenstellungen von plumpen Holzbalken und roh geschmiedeten Stangen betrachtet, als in welchen damals der elegante Mechanismus verwirklicht wurde.

Man sieht, die eigentliche Aufklärung bleibt uns selbst ein Denker wie Watt schuldig. Doch bemerken wir zugleich, dass bei dem Erfinder unter dem Zuströmen der Ideen sich der eine Ge-

danke immer aus dem anderen entwickelt hat, dass eine wahre Stufenleiter von Ideen durchlaufen, dass durchaus schrittweise unter Arbeit und Kampf bis zum Ziele vorgedrungen wurde. Das Anlangen daselbst gewinnt uns um so mehr Achtung vor dem Kopfe ab, als derselbe auf dem betreffenden Gebiete so zu sagen nichts vorfand. Aber von Eingebung oder augenblicklicher Erleuchtung ist nichts zu entdecken; es heisst oben: „und nach einiger Zeit fiel mir ein," was nur zeigt, dass unausgesetztes Suchen, fortwährendes Verfolgen des Gedankens vorangegangen war. „Indem ich fortwährend darüber nachdachte," antwortete Newton auf die Frage, wie er zu dem Gesetz der Gravitation geführt worden sei. Wie trifft auch wieder Göthe den Nagel auf den Kopf mit seinem Spruch:

„Was ist Erfinden? Es ist der Abschluss des Gesuchten."

Freilich bleiben uns die Bindeglieder der einzelnen Gedanken fast ganz verborgen; wir müssen sie erst hineinkonstruiren. Wir sehen das Ganze gleichsam wie ein nur leicht skizzirtes oder schon halb verwischtes Bild vor uns; und auch der Maler selbst hat uns kaum mehr Aufschluss darüber zu geben vermocht, als wir uns von aussen verschaffen konnten. In der That ist der Vergleich in mehr als einem Punkte zutreffend. Auf jedem neuen Gebiete geistiger Schöpfung schafft der Erfinder ähnlich dem Künstler. Mit leichtem Fuss überschreitet das Genie die luftigen Bauwerke von Schlüssen, die es zu dem neuen Standpunkte jeweilig hingespannt hat. Rechenschaft von Künstler und Erfinder über ihre Schritte zu begehren, ist zu Zeiten völlig unrichtig*).

Aehnliche Beobachtungen wie die am einzelnen Fall kann man in der säkularen Erfindungsgeschichte machen, wo man den Geist ganzer Zeitalter an der Hervorbringung neuer Dinge beschäftigt sieht. Die Erfindung der Dampfmaschine z. B. zieht sich durch ein Jahrhundert hin**), ohne andere als solche Schritte zu machen, welche um nichts vorausgehen der nothwendigen Entwicklung auf anderen Wissensgebieten.

In Galilei's Schule, wo die Fallgesetze zuerst den scholastischen Nebel, der alles Wissen bedeckte, wie ein Lichtstrahl durchbrachen, beginnt im Anfang des 17. Jahrhunderts die beobachtende Naturwissenschaft, mit deren Entwicklung die Erfin-

*) „An meinen Bildern müsst ihr nicht schnuffeln, die Farben sind ungesund," sagte Rembrandt. — **) Vergleiche meine kurzgefasste Geschichte der Dampfmaschine. Braunschweig 1864.

dung der Dampfmaschine untrennbar verknüpft ist. Nicht Zufall ist es, dass die Stätte eine durch freigiebigste Kunstentfaltung ausgezeichnete ist; Kunst und Wissenschaft gedeihen mit einander auf reichem Boden. Ist es doch, als hätten die stolzen Pisaner ihren Marmorthurm nur für Galilei's Fallversuche schief gebaut. In Florenz, 1643, entdeckte Galilei's gereifter und doch jugendfrischer Jünger Toricelli die Luftschwere. Alsbald hebt sich ein Streiten und Lärmen zur Rettung des horror vacui und des ganzen bedrohten Anhangs der Perrückenweisheit. Der Schwerpunkt der Dispute und Forschungen geht 1646 von Toscana nach Frankreich über, als Pascal die Frage aufnimmt, und nach einiger Zeit ganz zu den Neueren übergeht. Er veranlasst die denkwürdige erste Barometermessung auf dem Puy-de-Dôme 1648. Sie war entscheidend, und die Friedensglocken von Münster und Osnabrück läuteten auch den Triumph der jungen Wissenschaft ein.

Nun wendet sich die geographische Linie, in welcher das Zentrum der neuen Bestrebungen sich bewegt, nordöstlich, nach Deutschland, in das Land des grossen Kurfürsten. Die Tilly's hatten Magdeburgs geistiges Leben nicht zu vernichten vermocht. Sein Otto von Guerike führt 1650 ein neues Moment in die physikalische Tagesfrage ein, nämlich dasjenige der Kraft, welche der atmosphärische Druck auszuüben vermag. Er weist diese mit der Luftpumpe und anderen Experimentir-Apparaten wissenschaftlich und populär nach. Nun beginnt aller Orten ein Suchen nach Mitteln, durch einfache Herstellung der Luftleere die in der Atmosphäre steckende gewaltige Kraft verfügbar zu machen. Lange will nichts Rechtes gelingen; endlich wird 1696 durch Papin in Marburg die Lösung gefunden: Niederschlagung von Wasserdampf in einem Cylinder mit Kolben. Die Dampfmaschine war erfunden. Papin, ein wirklicher ächter Forscher, der auf die verschiedenste Weise dem Problem beizukommen getrachtet, auch eine Reihe anderer bemerkenswerther Erfindungen gemacht hat, ist der wahre Erfinder der Dampfmaschine. Aber seine Vorrichtung war noch sehr unvollkommen und unpraktisch; es bedurfte einer Ueberführung des trefflichen Gedankens aus den gelehrten Kreisen und den lateinischen Abhandlungen in das wirkliche Leben. Dem unsicheren Papin gelang diese Ueberführung nicht, er kam nicht über die Anfänge hinaus. Unfertig steht sein erster grosser Dampfcylinder als Denkmal im Hofe des Museums zu Kassel. Aber sein Gedanke wendet sich über den

Kanal zu den Engländern hin, und zwar unmittelbar in die arbeitenden Kreise hinein. Die Handwerker Newcomen und Cawley machen 1705 aus der Maschine ein brauchbares Werk, das sie zur Wasserhebungsmaschine gestalten und bald in Bergwerken zur Verwendung bringen.

Der Erfindungsgeist ruht aber nun aus, gleichsam erschöpft von den Anstrengungen der letzten Jahre. Indessen, die Ruhe ist auch geboten, da es an geistigem Werkzeug zum Fortarbeiten fehlt. Von der Wärme, dem unentbehrlichen Hilfsmittel, weiss man zu wenig, kann sie nicht einmal messen. Erst muss dem Thermometer die nöthige Vervollkommnung gegeben werden, erst muss die Wärmetheorie um wichtige Schritte gefördert sein. Dann kommt gegen 1763 Watt mit seinem überwältigenden Genie, um in kurzer Zeit die Maschine, welcher er eine ganze Reihe mechanisch-kinematischer Erfindungen zuführt, auf eine hohe Stufe der Vollkommenheit zu bringen, und auch die beeinflussenden Wissensgebiete wesentlich zu bereichern. Von da ab rasch sich mehrende Anwendung und steigende Entwicklung der Maschine, namentlich in die Breite, Verbesserungen durch tausend Köpfe und tausend Hände, bis sie heute sowohl hoch vollkommen, als auch förmlich Gemeingut geworden ist.

Ich habe in dieser gedrängten Skizze alles das ganz übergangen, was Humboldt den „unheimlichen Hader über Prioritätsrecht" nennt. Fast möchte man bei einem solchen nur ganz summarischen Ueberblick an eine ganz selbstthätige Entfaltung der Ideen glauben, wenn nicht die einzelnen energischen Fortschritte das Eingreifen hervorragender Begabungen bemerklich machten, und uns von der Bedeutung des Genies für die Weiterbildung des Geschlechtes immer aufs neue überzeugten. Durchgängig aber sehen wir die eine Idee sich aus der anderen entwickeln, wie das Blatt aus der Knospe, aus der Blüte die Frucht, gerade so, wie in der Natur überhaupt jede neue Schöpfung sich aus ihren Vorstufen herausbildet.

Ich glaube in dem Vorigen bewiesen zu haben, dass in jedem Erfinden eine mehr oder weniger deutliche logische Gedankenfolge enthalten ist. Je weniger dieselbe von aussen sichtbar wird, desto höher stellt unsere Bewunderung den Erfinder, und dieser verdient auch um so mehr Anerkennung, je weniger er die Mittel- und Zwischenglieder ausgearbeitet vorfand. Heute, wo den technischen Fächern in so enormem Maasse wissenschaftliche Hilfsmittel zugeführt sind, werden Fortschritte von ganz bedeutender absoluter

Grösse häufig gemacht, jedoch bei weitem nicht so hoch anerkannt, als vor Jahrzehnten. Alles liegt höchst natürlich und einfach vor uns und ist für Kräfte mittlerer Qualität begreifbar und erreichbar. Das relativ Grosse, was dem besonders Begabten gelingt, fördert darum aber auch weit mehr als je zuvor, und daraus haben wir uns die scheinbar fieberhaft schnelle Entwicklung auf den technischen Gebieten zu erklären. Sie beruht nicht auf der gesteigerten geistigen Leistungsfähigkeit des Geschlechtes, sondern nur auf der Ausbildung und Verbreitung der geistigen Werkzeuge. Diese haben sich, ähnlich denjenigen der neueren mechanischen Werkstätten, aufs mannigfaltigste gemehrt — die Leute, die damit arbeiten, sind die alten geblieben.

Kehren wir nun zu unserem eigentlichen Gegenstande zurück und betrachten einmal etwas strenger historisch, was denn bisher für die theoretische Kinematik geschehen ist. Fürchte der Leser nicht, dass ich hier den Staub von alten Pergament-Folianten aufwirbeln wolle, um aus dürren Jahreszahlen das Fundament einer Wissenschaft aufzubauen. Wir suchen nur nach den Anfängen des Gedankens unseres Gegenstandes, und dieser feine Stoff kann ohne Aufstörung der Motten aus den alten Bänden ausgezogen werden.

In früherer Zeit betrachtete man jede Maschine als ein Ganzes, bestehend aus ihm eigenthümlichen Theilen; jene Gruppen von Theilen, welche wir Mechanismen nennen, sah das geistige Auge an der Maschine noch gar nicht oder nur selten. Eine Mühle war eine Mühle, ein Pochwerk ein Pochwerk und nicht zugleich etwas anderes. Deshalb beschreiben die älteren Bücher jede Maschine von Grund aus bis zu Ende. So z. B. erläutert Ramelli, 1588, verschiedene durch Wasserräder betriebene Pumpen immer aufs neue vom Obergraben des Rades oder gar vom Flusse an bis zum Aussgussrohr der Pumpe. Der Begriff „Wasserrad“ ist allerdings so ziemlich vorhanden; man begegnete doch solchen Rädern auf Weg und Steg; allein der Begriff „Pumpe“ und deshalb auch das Wort dafür fehlt ihm noch gänzlich [2]). Es gehört auch in der That ein schon vorgeschrittenes Denken über einen Gegenstand dazu, um an dem Besonderen desselben das Allgemeine zu sehen, der erste Unterschied des wissenschaftlichen Denkens vom gewöhnlichen. Erst bei Leupold, 1724, finden wir eine Abtrennung einzelner Mechanismen von den Maschinen vor, welche für sich, nur mit nebensächlicher Rücksicht auf ihre mannigfachen

Verwendungen betrachtet werden. Weit entwickelt wird allerdings der Gedanke noch nicht. Dies erklärt sich daraus, dass damals die Maschinen noch nicht einem besonderen Lehrzweige zugewiesen waren; sie fielen zu jener Zeit noch dem Lehrkreise der Physik im weiteren Sinne zu. Sobald aber die erste polytechnische Schule gegründet wird — es ist die Pariser, 1794 — sehen wir die schon angebahnte Sonderung der Bewegungsmechanismenlehre von der allgemeinen Maschinenlehre sich systematisch vollziehen.

Diese Sonderung knüpft sich an Monge's und Carnot's berühmte Namen. Der Lehrzweig wurde als Unterabtheilung der darstellenden Geometrie aufgefasst, welcher er übrigens nach und nach aus der Hand gegangen ist. Nach den von Monge gegebenen Umrissen entwarf Hâchette, welcher den Unterricht zu ertheilen hatte, und 1806 begann, ein Programm, dessen Rahmen 1808 durch Lanz und Bétancourt in ihrem Essai sur la composition des machines ausgefüllt wurde. Monge hatte als „Elemente der Maschinen" die „Mittel zur Verwandlung der Bewegung" bezeichnet. Er verstand unter diesen „Mitteln" Mechanismen, und gründete auf diese Anschauung die Ordnung der Mechanismen nach den möglichen Kombinationen aus vier zu Grunde gelegten Bewegungsarten, nämlich: geradlinig fortschreitend und wiederkehrend, und kreisförmig fortschreitend und wiederkehrend. Es entstanden bei Weglassung der Wiederholungen die folgenden zehn Klassen, enthaltend die Mechanismen für die Verwandlung von:

Geradlinig fortschreitend in	geradlinig fortschreitend, „ wiederkehrend. kreisförmig fortschreitend, „ wiederkehrend.
Kreisförmig fortschreitend in	geradlinig wiederkehrend, kreisförmig fortschreitend, „ wiederkehrend.
Geradlinig wiederkehrend in	geradlinig wiederkehrend, kreisförmig wiederkehrend.
Kreisförmig wiederkehrend in	kreisförmig wiederkehrend.

Dieses Schema oder „System", wenn man will, lässt sich erweitern, und ist in der zweiten Auflage 1819 erweitert worden

durch Einführung anderer Urbewegungen, nämlich der kurvenförmig fortschreitenden und wiederkehrenden Bewegung, wobei statt 10 Klassen deren 21 entstehen, am Prinzip aber nichts geändert wird; dasselbe ist mit unwichtigen Abweichungen bis heute in ziemlich allgemeiner Anwendung geblieben und hat sich somit die Sanktion einer vielseitigen Anerkennung erworben. Hâchette selbst, der an dem Lanz'schen Werke*) mitgearbeitet, schloss sich ihm in seinem 1811 zuerst erschienenen Traité élémentaire des machines ganz bedingungslos an. Weniger befriedigt, oder eigentlich so zu sagen ablehnend verhält sich Borgnis 1818 in seinem Traité complet de mécanique; er fasst die Aufgabe allgemeiner auf als seine Vorgänger, und will eine Eintheilung der Maschinenorgane in sechs Klassen durchgeführt wissen. Sie sind: Kraftaufnehmer (récepteurs), Uebertrager (communicateurs), Abänderer (modificateurs), Gestelle (supports), Regulatoren (régulateurs), und Werkzeuge (opérateurs). Er bekümmert sich dabei nicht um die Bewegungsverwandlung als um ein Hauptprinzip, ordnet vielmehr nach ihr nur die Unterabtheilungen. Man hat übrigens sein System nicht als ein solches aufgefasst, welches dem von Monge gegnerisch gegenüberstände, sondern hielt seine Eintheilung für eine für die allgemeine Maschinenlehre bestimmte und hierzu mehr oder weniger geeignete. Einige Hauptzüge des Borgnis'schen Schemas sind auch zum Gemeingut erhoben worden. Es sind diejenigen von Rezeptor, Transmission und Werkzeug, welche durch die glänzenden Arbeiten von Coriolis[3]) und Poncelet[4]) zu wahren Grundsäulen, man möchte fast sagen Glaubensartikeln der modernen Maschinenlehre erhoben worden sind. Auf die Gefahr, in den Geruch der Ketzerei zu gerathen, muss ich hier schon bemerken, dass diese Grundanschauungen der Maschinenlehre einer wesentlichen Modifikation bedürfen. Der ehrwürdige Nestor der angewandten Mechanik möge die Skepsis verzeihen: *Amicus Plato, sed magis amica veritas*! **) Wir werden uns später die Mittel zur Prüfung jener Anschauungen verschaffen. Jetzt aber ist schon klar, dass diese Grundlehren nicht ausserhalb des Gebietes der Mechanismenlehre fallen können, da sie eine so wichtige Rolle bezüglich der Bewegungen der Maschinenorgane

---

*) Dieses erschien 1840 in dritter Auflage, welche eine wenig vermehrte, in schönerer Ausstattung auftretende Wiederholung der zweiten ist.

**) Poncelet ist, seit die obigen Zeilen geschrieben sind, aus der Reihe der Lebenden geschieden.

spielen. Das Borgnis'sche Werk ist heute ausser Kurs; seine Klassifikationen der Maschinen und deren Organe haben wenig Früchte getragen; sie bieten grösstentheils dem Leser doch kaum mehr, als ein einigermaassen geordnetes Gedächtnisswerk. Dennoch werden wir später finden, dass hinter einzelnen seiner Gedanken mehr steckte, als man angenommen hat.

1830 trat für die Mechanismenlehre eine bedeutsame Wendung insofern ein, als ihre philosophischen Grundlagen einer kritischen Untersuchung unterworfen wurden; dies geschah durch den grossen Physiker Ampère in seinem Essai sur la Philosophie des sciences. Ampère weist der von Monge und Carnot geschaffenen Disziplin den Rang einer Wissenschaft dritter Ordnung in seinem Systeme der Wissenschaften zu und sucht ihr Gebiet genau zu begrenzen. Er knüpft dabei an den Lanz'schen Essai an, und sagt u. A.: „Sie (diese Wissenschaft) muss daher eine Maschine nicht, wie man gewöhnlich thut, definiren: als ein Instrument, mit Hilfe dessen man Richtung und Intensität einer gegebenen Kraft verändern kann, sondern als ein Instrument, mit Hilfe dessen man Richtung und Geschwindigkeit einer gegebenen Bewegung verändern kann.“ Er will aus den Untersuchungen, welche die Wissenschaft anstellt, die Kräfte vollständig verbannt wissen, und sagt ferner: „Dieser Wissenschaft, in welcher die Bewegungen an sich betrachtet werden, so wie wir sie an den uns umgebenden Körpern, und insbesondere an den Apparaten beobachten, welche Maschinen genannt werden, habe ich den Namen Kinematik (Cinématique) von κινημα Bewegung gegeben.“ Er muntert dann später dazu auf, diese Wissenschaft in Lehrbüchern zu behandeln, denen er eine grosse Nützlichkeit voraussagt. Auf weitere Detaillirung ist er nicht eingegangen.

Ampère's Anregung ist folgenreich gewesen, indem die Kinematik als gesonderte Disziplin zunächst in Frankreich an zahlreichen Stellen eingeführt wurde, auch die einschlägige Literatur nach einiger Zeit sich sehr zu beleben begann. Der vorgeschlagene Name fand in Frankreich die willfährigste Aufnahme, und ist auch anderweitig mehr oder weniger heimisch geworden [5]). Bezüglich der wissenschaftlichen Begrenzung und der wesentlichen Richtung wurde indessen die wünschenswerthe Klarheit nicht zugleich erzielt.

Das nächste grössere selbständige Werk sind Willis' Principles of mechanism, 1841, ein treffliches Buch, reich an gediegenen Mittheilungen aus der angewandten Kinematik und voll von Gedanken in Bezug auf deren inneren Zusammenhang. Im System weicht es von Monge ab. Willis findet, dass das Schema des Lanz'schen Essai „trotz seiner scheinbaren wissenschaftlichen Schlichtheit" doch mehr nur eine „gemeinfassliche Eintheilung" sei. Er findet ausserdem bei Lanz u. Bétancourt einen Widerspruch mit Ampère's Definition in dem Umstande, dass sie die Wasserräder, Windmühlen etc. mit in den Kreis der Mechanismen gezogen, und will als reine (*pure*) Mechanismen nur solche gelten lassen, welche aus festen Körpern bestehen. An diesen Mechanismen hebt er die wichtige Eigenschaft hervor, dass sie nicht die wirklichen Bewegungen nach Richtung und Geschwindigkeit bestimmen, wie Monge sagt, sondern nur das Verhältniss der an den Maschinen vorkommenden Bewegungen nach den genannten beiden Beziehungen. Je nachdem diese Eigenschaften, beide beständig, beide veränderlich oder die eine beständig, die andere veränderlich ist, fällt bei ihm der Mechanismus in eine von nur drei Klassen, welche einige Unterabtheilungen je nach den benutzten Uebertragungsmitteln besitzen.

An Willisens Bemerkungen, die durchweg den Stempel scharfsinniger nnd ernster Forschung an sich tragen, ist viel Richtiges, aber auch mehreres Unrichtige, wie namentlich der Ausschluss der hydraulischen und verwandten Maschinen. Ich werde darauf zurückkommen. Beachtenswerth bleibt auf alle Fälle, dass die Klassifikation von Willis in dessen eigenem Vaterlande keine Wurzeln geschlagen hat, dass man vielmehr allmählich wieder in die ausgetretenen Pfade des Lanz'schen Schemas eingelenkt ist und darin heute wohlgemuth weitertrabt*).

In Italien trieb die Ampère'sche Aussaat ebenfalls erfreuliche Blüten. Giulio hat in seiner Cinematica applicata alle arti, einem Lehrbuche für technische Schulen, welches zuerst 1847 unter etwas anderem Titel erschien, seinem Vaterlande ein

---

*) Seit der ersten Veröffentlichung der obigen Bemerkungen ist die zweite Auflage des Willis'schen Werkes erschienen (London 1870). Dieselbe zeigt bedeutende Fortschritte gegenüber der ersten, ist indessen den angeführten Grundsätzen in allen wesentlichen Punkten treu geblieben; sie bestätigt ausserdem insofern meine Ansicht, als Willis unter Beibehaltung der Sätze deren Ordnung umgestellt hat.

werthvolles Geschenk hinterlassen. Das Buch knüpft in geistreicher Weise die Kinematik an die Mechanik an, folgt aber in sachlicher Beziehung ziemlich getreu Willis, nicht ohne den Versuch, die von diesem gestrichenen hydraulischen Maschinen wieder heranzuziehen, was allerdings nur unvollständig gelungen ist. Es weht ein feiner geistiger Hauch durch das Buch, was um so mehr anzuerkennen ist, als die Schrift auf die Tragweite einer nur elementaren Vorbildung in der Mathematik berechnet war. Der straffe und für sich selbst sprechende mathematische Ausdruck musste deshalb sehr häufig durch Umschreibung ersetzt werden, ein Verfahren, welches ein tieferes Verständniss seitens des Autors voraussetzt, als manche formelreiche Bücher erfordern, in denen die mathematische Maschine geräuschvoll arbeitet.

1849 unternimmt es Laboulaye in seiner Cinématique, ebenfalls aus Ampère'scher Anregung heraus die Mechanismenlehre vollausgebildet hinzustellen. Er verwirft wieder entschieden Willisens Beschränkung auf die aus festen Körpern gebildeten Mechanismen, und zeigt auch, dass Ampère Unmögliches forderte, als er die Kräfte so kategorisch aus der Kinematik verwies. Ausserdem will er auch neue theoretische Gesichtspunkte von allgemeinem Karakter unterlegen. Sie bestehen darin, dass nach ihm sämmtliche „Maschinenelemente" in drei Klassen zerfallen, welche er:

système levier,
système tour,
système plan

nennt. Sie sollen entstehen, je nachdem 1, 2 oder 3 und mehr Punkte eines bewegten Körpers jeweilig festgehalten (inébranlables) sind. Diese „Systeme" aber decken in der That die Aufgabe nicht; auf den Beweis hiervon werden wir an der geeigneten Stelle stossen. Auch hat ihr Urheber keine wirklich entscheidende Verwendung von ihnen gemacht, ohne Zweifel in dem Gefühl, dass nicht genug damit gefördert sei. Vielmehr kehrt er für die angewandte Kinematik wieder zu dem mit geeigneten Unterabtheilungen versehenen Lanz'schen Schema zurück. Ja er geht darin so weit, dass er Monge's Eintheilung a priori konstruiren, sie also als die wahrhaft wesentliche Grundlage des Ganzen erweisen will. Laboulaye hat mit diesem philosophischen Versuche der wissenschaftlichen Kinematik keinen Dienst erwiesen, da er seinen Adepten dadurch die fernere Forschung abschnitt, um so mehr als sein Beweis in scheinbar überzeugender Form geführt

ist. Jene aprioristische Konstruktion lässt sich allenfalls auf ein Schema der Bewegung des Punktes anwenden, deshalb gilt sie aber nicht von den Bewegungen des Körpers oder Punktsystemes. Im übrigen ist Laboulaye's Buch sehr brauchbar und hat ohne Frage viele nützliche Kenntnisse verbreitet; zugestandener Maassen fusst es im praktischen Theile auf dem unendlich fleissigen Willis, dem es sogar mitunter bis in die Irrthümer anhängt.

Auch Morin hat in einem für den elementaren Unterricht bestimmten kleinen Bande 1851 die kinematischen Hauptlehren zusammengestellt, ein Buch, welches in den späteren Auflagen Notions géométriques sur les mouvements heisst. Dasselbe ist in sehr verständigem Sinne äusserst anspruchslos abgefasst, und enthält einige treffliche leitende Gedanken, bleibt aber der Hauptsache nach dem Schema von Monge getreu.

In Deutschland geschah in dem besprochenen Zeitraume für die Entwicklung der theoretischen Kinematik so zu sagen nichts. Weisbach in seinem Artikel „Abänderung der Bewegung" in Hülsse's Encyklopädie, 1841, blieb gänzlich bei dem Lanz'schen Schema stehen; seine ausgebreitete wissenschaftliche Thätigkeit hatte bekanntlich auch eine ganz andere Richtung. Von Redtenbacher hätte man am ersten Neues erwarten dürfen, da er sich mit den Mechanismen nachhaltig beschäftigt hat. Ein hoch philosophischer Kopf wie er war, empfand er auch stark das Unzulängliche des Systems von Monge; aber, weit abgezogen zuerst durch die Schöpfung des gesonderten wissenschaftlichen Maschinenbaues und später durch seine Arbeiten für die physikalische Mechanik, verwarf er dasselbe, ohne etwas Neues dafür hinzusetzen. Er hielt dafür, dass ein wahres System für die Mechanismenlehre nicht möglich sei, dass man vielmehr nur nach der praktischen Brauchbarkeit ordnen könne, und übrigens selbstverständlich mathematisch zu operiren habe. Dieser Nihilismus steht zwischen den Zeilen seines schätzbaren Werkes: die Bewegungsmechanismen, 1857, worin er die Mechanismen der Karlsruher Modellsammlung beschreibt und theoretisch behandelt. Dass dieses Werk, systemlos wie es ist, eine nicht unbeträchtliche Verbreitung gefunden hat, zeigt, dass unser technisches Publikum ein lebhaftes Bedürfniss nach theoretischer Klärung des Gegenstandes empfindet.

Inzwischen hatte in Frankreich auf dem geometrischen Gebiete ein für die Kinematik wichtiger Vorgang stattgefunden. Es

wurde durch Chasles und namentlich Poinsot die schon im vorigen Jahrhundert durch Euler entwickelte geometrische Betrachtungsweise der Bewegung fester Körper wieder aufgenommen und bald weiter entwickelt. Vornehmlich gaben Poinsot's Théorie de la rotation des corps und seine Théorie des cônes circulaires roulants einen lebhaften Anstoss zur Anwendung der geometrischen Darstellungsweise auch auf die Mechanismenlehre. Die Euler'schen Sätze, welche bis dahin nur als interessante theoretische Auffassungen so nebenher aufgeführt wurden, gestalteten sich bei den französischen Kinematikern bald zu Grund- und Hauptlehren. Sie hauchten der etwas träge gewordenen Disziplin neues Leben ein. Unter ihrem Eindruck entstanden Girault's Elémens de géom. appl. à la transformation du mouvement 1858, Belanger's Cinématique 1864, Haton's Traité de mécanismes 1864, die beiden ersteren namentlich lehrreich im geometrischen, also theoretischen Theile, letzteres wegen der versuchten Anwendungen der Theorie auf die Mechanismen selbst. Alle drei Bücher aber, gut und bedeutend wie sie sind, gerathen, sobald sie das Gebiet der Anwendungen betreten, in die alten Schwierigkeiten der Klassifikation. Sie weichen sämmtlich von Monge ab, da die Unzulänglichkeit des „ancien système" im Lichte der neuen Anschauungen sich zu krass herausstellt; dennoch aber bleiben sie wohl oder übel darin theilweise stecken. Untereinander sind sie wieder verschieden, und schwanken jedes auf seine Art zwischen Monge und Willis hin und her. Girault und Belanger legen als Haupteintheilung die Bewegungsverwandlung, aber in ganz verschiedener Weise zu Grunde, und nehmen die Verschiedenheit der Uebertragungsmittel als Unterabtheilungen, Belanger unter Zuziehung von Willisens Geschwindigkeitsverhältniss. Haton erkennt die Mängel des alten Systems, und führt z. B. an, dass man in demselben die Zahnräder, wenn man sie prinzipiell richtig eingeordnet annehme, fast in sämmtlichen 21 Klassen zu suchen haben würde; er kehrt den Spiess um, indem er als Haupteintheilungsgrund die Uebertragungsmittel nimmt. Sie führen ihn auf neun Klassen, wovon die ersten sechs: Leitrollen, Gleitschienen, Exzentrika, Zahnräder, Pleuelstangen, Riemen sind; die drei letzten führen die fatale gemeinsame Bezeichnung: appareils accessoires. Es hat also ein ganzes Drittel der Gegenstände gleichsam als Anmerkung, unter dem Strich, mitgetheilt werden müssen.

Diese ganze neuere Richtung, deren anderweitige Erzeugnisse ich übergehe, hat es also nicht zu einer gemeinsamen Auffassung der angewandten Kinematik gebracht. So etwas ist misslich, und wirkte auch entsprechend in Frankreich. Die der reinen Wissenschaftlichkeit Zugeneigten hielten sich überzeugt, dass nun dennoch auf dem Gebiete der Anwendungen nichts zu machen sei. Sie geriethen auf Redtenbacher's Nihilismus, und so entstand eine Trennung der „Cinématique pure" von der „Cinématique appliquée". Von ersterer Richtung ist Résal's Cinématique pure 1862, ein Buch, welches zeigt, dass die Verflüchtigung der kinematischen Probleme in solche der reinen Mechanik auf diesem Wege kaum zu verhüten ist.

Daneben hat sich als weitere Frucht jener Unsicherheit noch eine andere eigenthümliche Disziplin geltend zu machen versucht, welche eine Erwähnung erheischt; es ist die sogenannte Automatik, d. i. Lehre von der Verwirklichung gedachter und durch mathematische Ausdrücke gegebener Bewegungsverhältnisse durch Mechanismen. Diesen Sonderungsversuch verdankt man dem Ingenieur E. Stamm, der hier wiederum die reine und die angewandte Lehre geschieden wissen will, und diese Theilung zweiter Ordnung in seinem Essai sur l'automatique pure 1863, durchgeführt vorlegte. Stamm hat sich um die Kinematik des selbstthätigen Spinnstuhls, also einen besonderen Fall der Anwendung der Kinematik, wesentliche Verdienste erworben, welche die Spinnerei-Technologen heute zu schätzen wissen. Seine Ablösung der Automatik aber muss als unpraktisch bezeichnet werden, da diese thatsächlich nicht für sich bestehen kann; sie ist nur ein Theil des synthetischen Verfahrens mit kinematischen Grundsätzen und gehört deshalb der Kinematik selbst untrennbar an. —

Wir sind am Ende unserer literarischen Umschau angelangt. Was wir gefunden haben, ist einerseits ein wenig befriedigendes Gewirre von Gestaltungsversuchen eines und desselben Ideenkreises. So viele Autoren, so viele Systeme, kein Ruhepunkt, der erreicht worden wäre, immer neues Tasten und Suchen, und am Ende, nachdem alles mögliche wissenschaftliche Material zugefahren worden, will sich Ampère's vorgezeichnete abgerundete Wissenschaft in zwei, ja in vier Wissenschaften spalten, ähnlich einem von jenen Infusionsthierchen, welche sich durch Theilung fortpflanzen. Auf der anderen Seite machen wir indessen die tröstlichere Bemerkung, dass die Anschauungen an Schärfe und Fein-

heit mehr und mehr zugenommen haben, sowie ferner dass die Untersuchungsmethoden wie die untersuchten Mechanismen nach und nach an Zahl sehr gewachsen sind. Die beiden Seiten der Frage, die **theoretische** und die der **Anwendung**, haben also eine Sonderexistenz neben einander geführt. Zu ihrer Verquickung, zum Ineinanderaufgehen ist es nicht gekommen. Die Ursache hiervon kann nur in den **Systemen** gesucht werden, da die Anwendungen, die Mechanismen selbst, sich in der Maschinenpraxis durch Erfindung und Verbesserung ruhig weiter entwickelt haben, ohne auf eine gerade geltende theoretische Anerkennung Rücksicht zu nehmen. Ja zu dieser Entwicklung haben die bisherigen Theorien nur hinsichtlich der Ausführungsform beigetragen, z. B. in den Verzahnungsmethoden u. s. w.; **neue Mechanismen aber hat keine derselben geliefert.** Dieser Umstand ist sehr beachtungswerth: aus ihm erklärt sich die konservative Zähigkeit, mit welcher die Maschinenpraktiker trotz allem Angebot neuer Theorien immer wieder, wenn überhaupt auf eine theoretische Anschauung, so auf die alte, so natürlich scheinende von **Monge** zurückgefallen sind, wie die technische Journal-Literatur überall sattsam beweist.

Hiermit glaube ich die Unzulänglichkeit der bisherigen theoretischen Kinematik und die Nothwendigkeit einer Reform nachgewiesen zu haben. Es fragt sich nun, worin denn eigentlich der Fehler der bisherigen Anschauungsweise besteht.

Zunächst ist **Monge**'s Klassifikation, so natürlich sie erscheint, dennoch nicht dem Wesen der Sache entsprechend. Wäre dies bei ihr so der Fall, wie etwa bei **Linné**'s und **Cuvier**'s Eintheilungen der organischen Naturreiche, so würde sie ähnlich festen Fuss fassen können, und im Grunde erklärt sich das erwähnte zähe Festhalten aus dem dunklen Gefühl, dass ein analoges Verhältniss hier zu Grunde liege. Dem ist aber nicht so. Angenommen, es handle sich wirklich bloss darum, **Klassen** für die Mechanismen zu bilden, so kann die Eintheilung nach den Bewegungsverwandlungen nicht gebraucht werden, da sie endlose Wiederholungen mit sich bringen würde. Fast alle Mechanismen wären in wenigstens zwei, die meisten in vier bis sechs, ja zehn bis fünfzehn Klassen aufzusuchen und also daselbst auch aufzuführen, da sie zu ebenso viel Verwandlungsarten gebraucht werden können und auch in praxi gebraucht werden. Bei **Willis**, dem gegen sich selbst strengen Forscher, verräth sich neben der starken

Empfindung für die Nothwendigkeit einer gesetzmässigen Ordnung das Misstrauen gegen die Elastizität der Unterlage seines Schematismus, so dass seine Klassifikation nicht den Eindruck des Ueberzeugenden hervorruft. Da er konsequent an dem Grundsatze des Bewegungsverhältnisses festhalten will, sieht er sich genöthigt, sehr verschiedenartige Mechanismen neben einander zu behandeln. Da aber einzelne Mechanismen mehrere Bewegungsverhältnisse in sich enthalten, ist er ebenfalls gezwungen, mehrfach Wiederholungen ausgedehnter Art eintreten zu lassen. Andere Einwürfe sind gegen die Klassifikationen von Laboulaye, Girault, Belanger, Haton etc. zu erheben, und zwar gegen jedes einzeln wie auch im allgemeinen, da eine wahrhafte Wissenschaft sich nicht so nach Belieben auf sechs bis acht Manieren ummodeln lässt.

Der Grund der Mangelhaftigkeit der Systeme ist demnach nicht in der Klassifikation selbst, er ist tiefer zu suchen. Er liegt, wie ich schon früher angedeutet habe, in dem Umstande, dass man nirgend weit genug zu den Anfängen, zu den Ausgangsgedanken zurückgeforscht hat, dass man angefangen hat zu klassifiziren, ohne die Objekte der Klassifikation genügend zurückgespalten zu haben. Das Eintreten „medias in res“ geht bei einer erst zu formenden Wissenschaft nicht an; eine solche fordert gerade wie die Lehrmeisterin Mathematik ein Zurückgehen auf die allereinfachsten, auf Axiome fussenden Anfänge. Ohne dass man diese aufsucht, wird man nie zum Ziele gelangen können. Eine Prüfung des gebräuchlichen Verfahrens am einzelnen Satze zeigt dies sehr klar.

Man begann z. B. bisher gelegentlich mit der Verwandlung einer geradlinigen Bewegung in eine andere geradlinige; man fragte sich aber nicht, woher die erste geradlinige Bewegung gekommen, warum sie vorhanden war, wie man sie erzeugte. Hâchette und Lanz, um einen besonderen Fall vorzuführen, behandeln gleich als ersten Mechanismus die sogenannte feste Rolle. Die geradlinige Bewegung des ablaufenden Seiles, heisst es da, werde in eine solche des auflaufenden verwandelt. Warum aber die erste Bewegung geradlinig ist, erfahren wir nicht. Ja sie braucht auch nicht einmal geradlinig zu sein, da man ja das ablaufende Seil hin- und herzerren kann, ohne dass sich der Mechanismus ändert, wenn man nur das Seil straff gespannt erhält. Sodann wird die Bewegung des ablaufenden Seiles zuerst in die kreisförmige der Punkte der Rolle und des dieselbe umfassenden

Seiltrums übergeführt, danach erst in die des auflaufenden Seiles. Gleich das erste Problem ist also nicht einmal einfach dem Schema getreu. Von der Bewegung des auflaufenden Seiles gilt dieselbe Unbestimmtheit, welche von der des ablaufenden aufgezeigt wurde. Man sieht also, dass gleich beim ersten Beispiel die Ungenauigkeiten schaarenweise auftreten. Nebenbei bemerkt, ist das Problem der festen Rolle, was die dabei anzuwendenden theoretischen Vorstellungen betrifft, schon ein sehr verwickeltes, wie ich später im Text zeigen werde.

Ueberhaupt können bei einem einfachen Mechanismus die Vorstellungen, durch welche man einzig und allein zu ihm zu gelangen vermag, sehr verwickelt sein; unter Umständen kann auch das Umgekehrte eintreten. Aber gleichviel, ob einfach oder verwickelt, wenn man den simplen Apparat wissenschaftlich verstehen und behandeln will, so darf man sich nicht entbrechen, sich durch die Reihe seiner Vorstellungen hindurchzuarbeiten, von jeder besonderen zurück zur nächst höheren, welche die vorige enthält, bis man zu wahrhaft allgemeinen Sätzen gelangt. So schwierig dies auch sein mag, und selbst so wenig nützlich es für den ersten Anblick erscheint, es muss geschehen, und dass die bisherigen Kinematiker dies nicht gethan, hat zum Scheitern ihrer sämmtlichen Theorien geführt. Was sie gethan haben, war was ich schon früher als unrichtig bezeichnete, das Uebernehmen der einfachen oder einfach scheinenden Mechanismen aus der Hand des Erfinders, sei dies eine bekannte Person, sei es auch die ins Grau der Völkergeschichte zurückgreifende Ueberlieferung.

Eine Prüfung dieser nebelhaften Ueberlieferung gibt dem Kinematiker zu eigenthümlichen Betrachtungen Anlass. Ich muss mir versagen, diesem anziehenden Stoffe, auf den ich im spätern Verfolg ausführlicher eingehen werde, hier weithin zu folgen; nur eine Bemerkung muss ich demselben entnehmen. In den historischen Zeiten, in welchen wir das Maschinenwesen bis zu seinen frühesten Leistungen zurück verfolgen, findet man an verschiedenen Orten Vorrichtungen mancherlei Art im Gebrauch, von ziemlich zusammengesetzten Maschinen herab bis zu den einfachsten Einrichtungen, welche noch eben den Namen Maschine verdienen. Welches das Kriterium der verhältnissmässigen Leichtigkeit ihrer Erfindung ist, kann hier noch nicht erörtert werden; nur darauf ist hinzudeuten, dass sie an verschiedenen Orten unabhängig von einander auftreten. Die Walzen, auf denen die assyrischen wie

die ägyptischen Bauleute ihre Steinkolosse rollten, gehören zu diesen Urmaschinen; Wagen aus Holz und aus Metall, zum Lastenführen wie zum Streit, besassen Aegypter, Babylonier, Inder in unvordenklichen Zeiten; die Wasserräder waren im alten Mesopotamien und in Aegypten im Gebrauch, ebenso aber auch in China, Indien und Mittelasien; die Zahnräder waren den Griechen bekannt, nicht weniger die Schraube, der Flaschenzug, gewisse Hebelwerke u. s. w. Einzelne dieser Einrichtungen sind übertragen worden, andere aber sind auf Grund schon ausgebildeter Vorstufen auf dem Boden entstanden, wo wir sie antreffen. Alle waren von Menschenwitz ausgedacht, mitunter von recht besonderem, da man sie als Göttergeschenke pries; sie waren aber immer ausgedacht, durch den Denkprozess, der irgend welche Stufenfolgen durchlaufen, hervorgebracht.

Daraus geht aber hervor, dass sie auch heute wieder durch den Denkprozess zu finden sein müssen, und diese Aufgabe ist es, welche die theoretische Kinematik vor allen Dingen lösen muss. So lange sie nicht auch ohne Erfindungsgeschichte zu den Elementen und Mechanismen der Maschinen zu gelangen vermag, darf sie den Karakter einer Wissenschaft nicht für sich in Anspruch nehmen; so lange ist sie streng genommen nicht mehr, als Empirie, und mitunter recht hausbackene, welche in den von fremden Wissenschaften erborgten Kleidern einherstolzirt. Wenn sie aber durch genaues Erschliessen der zu beschreitenden Wege die Mittel erbracht hat, Bewegungen bestimmter Art hervorzubringen, so wird sie anfangen, eine Wissenschaft zu sein. Dann wird sie ganz von selbst auf eine Klassifikation ihrer Stoffe kommen. Sie wird dann auch sich die Frage wegen Verwandlung der einen Bewegung in die andere vorlegen, und dann als ihre eigene Richterin entscheiden können, ob eigentlich und in welchem Grade ihr diese Eintheilung von Werth ist. Sie wird überhaupt als echte Wissenschaft ihre Gesetze in sich selbst finden, und bedarf keiner Lykurge, welche dieselben von aussen einführen.

Hier gelangen wir nun zu einer anderen wichtigen und merkwürdigen Schlussfolgerung. Sind die Denkprozesse, welche zur Bildung der bekannten Mechanismen geleitet, richtig erschlossen, so müssen diese Prozesse noch weiter in ähnlichem Sinne verwendbar sein: sie müssen auch die Mittel enthalten, mittelst deren man zu neuen Mechanismen gelangen kann, müssen also an die Stelle des Erfindens im bisherigen Sinne treten können. Ich hoffe, nicht in

den Verdacht zu gerathen, als wollte ich eine Plattheit aussprechen. Als wolle ich sagen, mit dem neuen Rezept in der Hand könne nun der Alltagskopf es sich auf dem Stuhle des Genies bequem machen und Erfindungen orakeln. Es soll vielmehr nur gesagt sein, dass auf dem Gebiete der Maschinenprobleme dieselben intellektuellen Operationen einführbar sind, mit welchen die Wissenschaft auch an anderen Stellen die Forschung betreibt. Ich habe schon oben nachzuweisen versucht, dass das Erfinden Denken ist, wo es überhaupt gelingt; wenn wir dieses also für unseren Stoff zu ordnen vermögen, haben wir auch den Weg zum Erfinden angebahnt.

Göthe, den der innere Vorgang einer gelingenden Erweiterung unserer Ideenkreise lebhaft beschäftigte, spricht sich in folgender bemerkenswerthen Sentenz darüber aus: „Alles was wir Erfinden, Entdecken im höheren Sinne nennen, ist die bedeutende Ausübung eines originalen Wahrheitsgefühles, das, im Stillen längst ausgebildet, unversehens mit Blitzesschnelle zu einer fruchtbaren Erkenntniss führt." Auch höre man, wie Schopenhauer, den wir hier wie mehrmals auf einer Götheschen Ideenrichtung antreffen, sich über nahe verwandte Fragen ausspricht. „Unsere besten, sinnreichsten und tiefsten Gedanken," sagt er, „treten plötzlich ins Bewusstsein, wie eine Inspiration, und oft sogleich in Form einer gewichtigen Sentenz. Offenbar aber sind sie Resultate langer und unbewusster Meditation und zahlloser, oft weit zurückliegender, im Einzelnen vergessener Aperçüs ...... Selten liegt der ganze Prozess unseres Denkens und Beschliessens auf der Oberfläche, d. h. besteht in einer Verkettung deutlich gedachter Urtheile, obwohl wir dies anstreben, um uns und anderen Rechenschaft geben zu können: gewöhnlich aber geschieht in der dunklen Tiefe die Rumination des von aussen erhaltenen Stoffes, durch welche er zu Gedanken umgearbeitet wird; und sie geht beinahe so unbewusst vor sich, wie die Umwandlung der Nahrung in die Säfte und Substanz des Leibes. Daher kommt es, dass wir oft vom Entstehen unserer tiefsten Gedanken keine Rechenschaft geben können: sie sind die Ausgeburt unseres geheimnissvollen Innern. Urtheile, Einfälle, Beschlüsse steigen unerwartet und zu unserer eigenen Verwunderung aus jener Tiefe auf" [6]).

Die für das Ersinnen eines Mechanismus erforderlichen Urtheile lassen sich aber nach dem Obigen zu „deutlich gedachten"

machen und können dann zu dem Gesuchten hinleiten, ebenso wie in der Mathematik die klar gedachten und verketteten Urtheile zum Endziel führen. Das Erfinden eines Mechanismus wird mit anderen Worten für den wissenschaftlich gerüsteten Kinematiker eine synthetische Aufgabe sein, die er nach geordneten, wenn auch schwierigen Methoden lösen kann. Der Begabte wird, mit so starken Werkzeugen versehen, den weniger Begabten nach wie vor hinter sich lassen, ebenso, wie der schöpferische Mathematiker den Algebra-Praktikanten zurücklässt, welcher nur mit eingelernten Operationen arbeitet.

Wichtiger übrigens als das Schaffen neuer Mechanismen ist und bleibt das gründliche Verstehen der alten. Es ist in der That erstaunlich, wie wenig tief die bisherigen Anschauungsweisen in das Wesen der Mechanismen hineingeführt haben, und wie mangelhaft gekannt deshalb die meisten der gebräuchlichen Mechanismen sind. Dem tüchtigen, denkenden Mechaniker, dem es mit seiner Aufgabe Ernst ist, wird in dieser Beziehung eine wahrhaft wissenschaftliche Kinematik ausserordentlich förderlich sein. Sie wird ihn des grübelnden und oft quälenden Suchens nach Lösungen seiner Probleme entheben, indem sie ihm ein planvolles Arbeiten ermöglicht. Ebenso wird der Technologe, welcher bisher von der Kinematik kaum Gebrauch gemacht hat, in ihr ein wichtiges Hilfsmittel zum Verständniss der alten und zur Beurtheilung neuer Maschinen entdecken. In diesen beiden Vertiefungen der Auffassung wird aber die Gewähr zu finden sein, dass die umgeformte Wissenschaft ihren Antheil an einem grossen Ziele, nämlich der Fortentwicklung des Maschinenwesens, zu erwerben wissen wird.

Fassen wir zum Schlusse die einzelnen Momente der Darstellung, welche ich von der bisherigen Auffassungsweise und dem zu erstrebenden Ideal zu geben versucht habe, übersichtlich zusammen, so stellt sich die bisherige Weise als eine solche dar, welche eine innere Einheit nicht besitzt, obwohl die Ansicht, dass dies der Fall sei, besteht, und zwar deshalb besteht, weil die angewandten Untersuchungsmittel wissenschaftliche sind. Es wurde aber gezeigt, dass es nicht sowohl hierauf ankommt, als auf die Feststellung der dem Gegenstande innewohnenden ihm eigenthümlichen Grundgedanken. Zugleich erkennen wir indessen, dass es sich hier thatsächlich und zweifellos um ein Forschungsgebiet handelt, welches den exakten Wissenschaften angehört. Dieses

anerkannt, muss das bisherige Verfahren als unzureichend und auf die Dauer nicht haltbar bezeichnet werden, da es Folgerungen nur in beschränktem Maasse zulässt, und Gründe für das Bestehende nicht zu geben vermag.

Für die nothwendig werdende Umgestaltung bedarf es des unverrückten Festhaltens an reinen, einfachen logischen Grundsätzen. Was aber aus der oben angestellten Kritik der bisherigen Systeme abzuziehen ist, was ich an den einzelnen Beispielen zu entwickeln versuchte und dabei gleichsam umschrieben habe, was die angezogenen philosophischen Sentenzen aus der Mannigfaltigkeit der Erscheinungen verdichtet uns vorführen, lässt sich hinsichtlich unserer besonderen Aufgabe auf das eine Wort zusammendrängen: Es handelt sich darum, die Maschinenwissenschaft der Deduktion zu gewinnen. Es handelt sich darum, deren Lehrgebäude so zu gestalten, dass es sich auf wenigen, ihm eigenthümlichen Grundwahrheiten erhebt. Auf deren Ernst und Einfachheit muss der ganze Gestaltenreichthum zurückführbar sein, aus ihnen muss er umgekehrt entwickelbar sein. Hier ist auch der Punkt, wo die Schwäche der bisherigen Auffassungsweise mit einem Blick übersehen werden kann. Sie stand nicht etwa in einem solchem Gegensatze zu dem eben genannten Ideal, dass sie statt der deduktiven die induktive Methode besessen hätte, was zwar kein Vorzug, aber doch immerhin vertheidigbar wäre. Nein, sie war geradezu unmethodisch. Sie hatte keinen festen Standpunkt der Untersuchungsform gewählt, oder vielmehr sie hatte trotz eifrigen Suchens keinen gefunden, ja hatte sich durch den wiederholt erschallenden „Heureka"-Ruf in die ruhige Stimmung versenken lassen, dass der feste Standpunkt wirklich gefunden sei.

Jede exakte Wissenschaft macht einmal eine solche Zeit der Wandlungen durch, und hat die Aussicht, zur Klarheit durchzudringen, wenn ihr Stoff extensiv so weit gewachsen ist, dass die Allgemeinheit der Betrachtung möglich wird. Für die Kinematik ist aber dieser Zeitpunkt ganz entschieden gekommen. Die Fülle der Mechanismen ist fast ins Maasslose gewachsen, die Zahl der Anwendungsarten nicht minder. Es ist schier unmöglich geworden, nach der bisherigen Auffassungsweise auch nur einigermaassen den Faden festzuhalten, welcher durch das entstandene Labyrinth führen könnte.

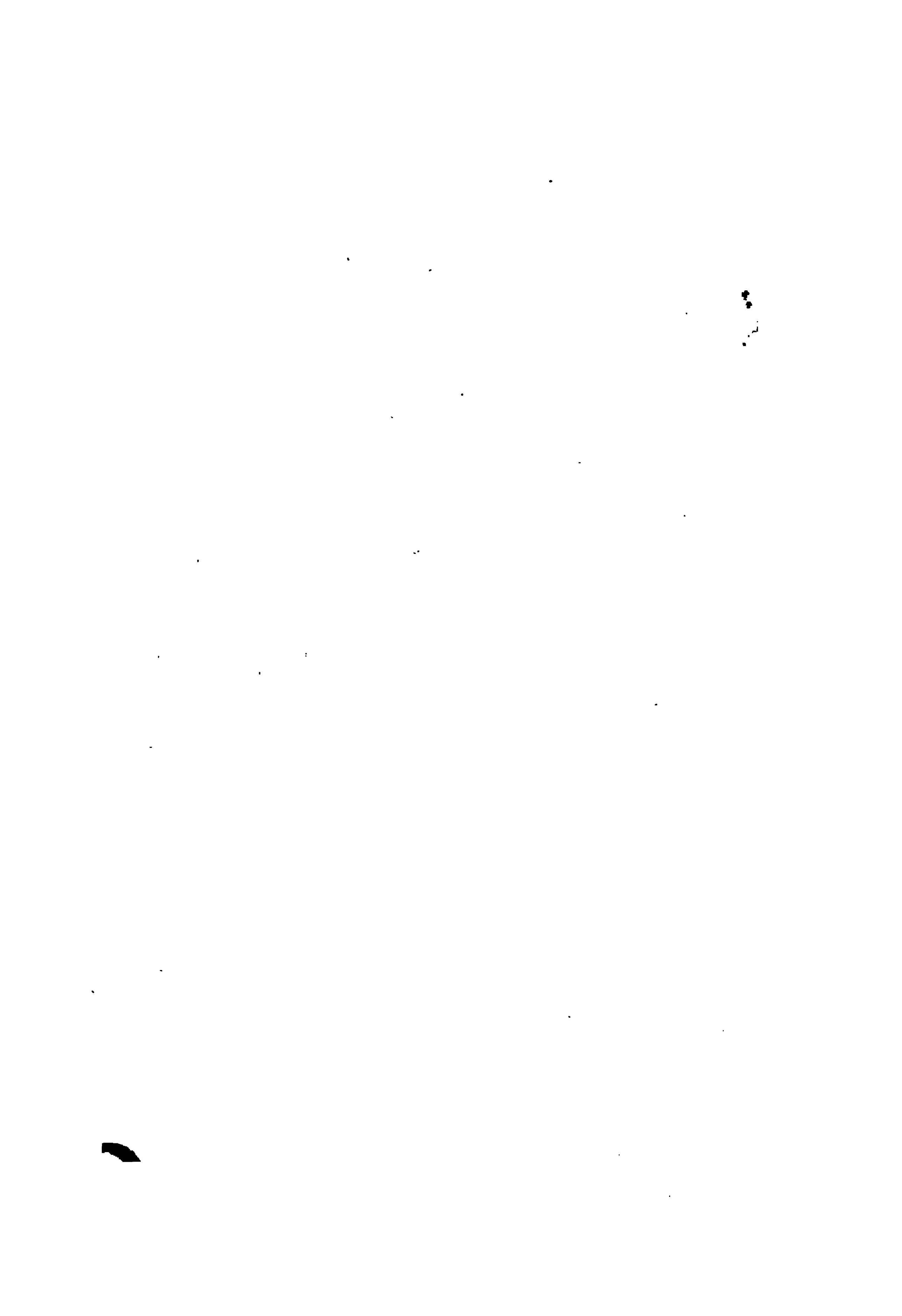
Daneben darf nicht verhehlt werden, dass die Schwierigkeiten der Umgestaltung gross sind. Wir wissen häufig selbst nicht,

wie fest eingezwängt unsere Anschauungen innerhalb der Grenzen sich bewegen, welche Erziehung und Studium um uns gezogen. Es bedarf da, wenn neue Gedanken statt der gewohnten eingeführt werden sollen, einer Entäusserung, der sich starke innere Kohäsionskräfte entgegensetzen. Da sind der hergebrachte geregelte Lehrgang der Schulen, die Fachliteratur in ihrer gewaltigen Ausdehnung und Bedeutung, die schwer erworbene und darum so feste Gewöhnung, da ist auch die wesentliche Schwierigkeit, dass das Neue nicht con amore stückweise und gelegentlich, sondern dass es im Ganzen erfasst sein will, was mächtige Hindernisse aufthürmt. Darum kann der Weg, welchen ich zu Wahrheiten von grosser Einfachheit zu wählen habe, kein kurzer sein. Das sorgsame Beseitigen von Vorurtheilen, das langsame Aufsuchen des richtigen unter den sich bietenden Pfaden hindert die schnelle Bewegung. Was die folgenden Kapitel bringen, ist auch darum nicht sowohl dazu bestimmt, das positive Wissen des Maschinenmechanikers zu bereichern, als vielmehr auf das Verstehen dessen, was bereits gewusst wird, einzuwirken, um es dadurch zum festen Besitz zu machen. Denn, um mit Göthe zu schliessen: Was man nicht versteht, besitzt man nicht.

GRÜNDZÜGE EINER THEORIE

DES

MASCHINENWESENS.



ERSTES KAPITEL.

ALLGEMEINE UMRISSE.

§. 1.

Grenzen des Maschinenproblems.

Während die Maschine für den Unbefangenen sich in ihrem Wesen von den in der Natur thätigen Bewegungs- und Kraftspendern stark unterscheidet, besteht für den theoretischen oder reinen Mechaniker zwischen beiden eine solche Verschiedenheit nicht; oder vielmehr, dieselbe löst sich für ihn beim Analysiren der Vorgänge so zu sagen völlig auf, so dass für den reinen Mechaniker die Probleme des Maschinenwesens in dieselbe Klasse fallen, wie diejenigen der mechanischen Naturerscheinungen. Er sieht in beiden die Kräfte und Bewegungen nach denselben grossen Gesetzen walten, welche, wenn sie in möglichster Allgemeinheit entwickelt sind, über sämmtlichen einzelnen Fällen stehen und stehen müssen. Die Maschine ist der reinen Mechanik nur ein Beispiel, ein Paradigma; an ihr entwickelt sie sich nicht mehr, wie es früher geschehen musste, als ihr viele Probleme noch neu und fremd gegenüberstanden, und wo mithin auch das Maschinenwesen für sich der Mechanik gegenüberstand. Die heutige Unterordnung, da wo es sich um rein wissenschaftliche

Auffassung handelt, ist ganz am Platze. Wie aber das praktische Maschinenwesen selbst, als aus zahlreichen anderen Quellen mitschöpfend und sich eigenartig abrundend, ein besonderes, in viele Unterabtheilungen zerfallendes Thätigkeitsgebiet vorstellt, so ist auch eine Abtrennbarkeit seiner wissenschaftlichen mechanischen Probleme von der allgemeinen Mechanik ausführbar, und, was noch weit mehr ist, auch berechtigt.

Zunächst muss zugegeben werden, dass das Gefühl für diese Abtrennbarkeit nicht nur für die der Wissenschaft mächtigen Praktiker, sondern auch für den mit der Maschine vertrauten Theoretiker bestehen geblieben ist, trotzdem in der mechanischen Wissenschaft eine sich steigernde Tendenz zum Verflüchtigen der Maschinen-Probleme in die der reinen Mechanik unbestreitbar vorhanden ist. Und jenes Gefühl hat seinen Hintergrund.

Vor allem ist die genannte Auflösung der Probleme aus praktischen Gründen nicht zu wünschen, da sie den Maschinenbau nach der wissenschaftlichen Seite hin auf eine zu wenig begrenzte, zu dehnbare und lockere Grundlage stellen würde. Sind doch die Urbegriffe von Kraft und Bewegung selbst schwankender Deutung unterworfen. Der Grenzzustand derjenigen Begriffe, welche an der Scheidelinie des Physischen vom Metaphysischen stehen, erzeugt ein Wogen und Schwanken in denselben, welches die höchste mathematische ebenso wie die philosophische Forschung beschäftigt. Diese Unsicherheit muss bei steter Offenhaltung der Perspektive auch auf die für die Anwendung bestimmten Lehren eine ankränkelnde Wirkung ausüben, welche ganz ausser allem Zwecke der betreffenden Belehrung liegt. Sie beeinflusst jede Definition, jede erschöpfend sein wollende Erläuterung; sie zwingt den Lehrer, dem es mit der wissenschaftlichen Strenge Ernst ist, entweder zu Weitschweifigkeiten, deren Unpraktizität er fühlt, oder zu unlogischen Einschränkungen auf „technische Nützlichkeit", „gebräuchliche Einrichtungen" u. dergl.; er muss sich mit der Regel begnügen, wo er viel lieber bei der streng wissenschaftlichen Methode geblieben wäre, die nur Gesetze kennt. Praktisch ist also jene Verallgemeinerung nicht. Sie ist aber auch von einem bestimmten Standpunkte aus nicht richtig. Es ist der Standpunkt, welcher von der allgemeinen Mathematik die Geometrie, von dieser die darstellende Geometrie ablöst, mehr noch, der von der Mechanik und Physik die kosmische Physik, die Hydraulik, die Aërostatik abzweigt, mit anderen Worten: der

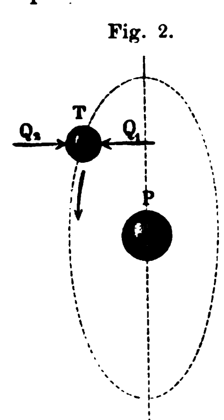
überhaupt von einer oder mehreren allgemeinen Wissenschaften besondere, jenen untergeordnete lostrennt.

Berechtigt und angezeigt ist eine solche Trennung, wenn dem Sondergebiet ein übersichtlicher geschlossener Begriffskreis zu Grunde liegt. Und in der That ist die Abtrennbarkeit der Maschinenprobleme von den allgemein mechanischen erweisbar. Zwischen beiden geht eine deutliche, wenn auch ebenso wie in den angeführten Beispielen nicht scharfe Grenzlinie her, welche sich zeigen und karakterisiren lässt. Um dies zu thun, wollen wir uns auf den gänzlich unbefangenen Standpunkt der Untersuchung von aussen stellen, und ohne Rücksicht auf eine etwa bestehende Maschinenwissenschaft eine und dieselbe Bewegungsaufgabe in einer Lösung durch Naturerscheinung und einer solchen durch die Maschine betrachten.

Es möge sich um eine Kreisbewegung handeln, welche 1. durch den Trabanten eines Planeten, 2. durch ein Rad ausgeführt werden soll.

Um den Planeten P bewege sich, in Folge irgend welcher Verursachung, der Trabant T so, dass sein Mittelpunkt in einer durch die Mitte von P gehenden Ebene einen Kreis um den Mittelpunkt von P beschreibt. Bleiben die Veranlassungen unge-

Fig. 2.



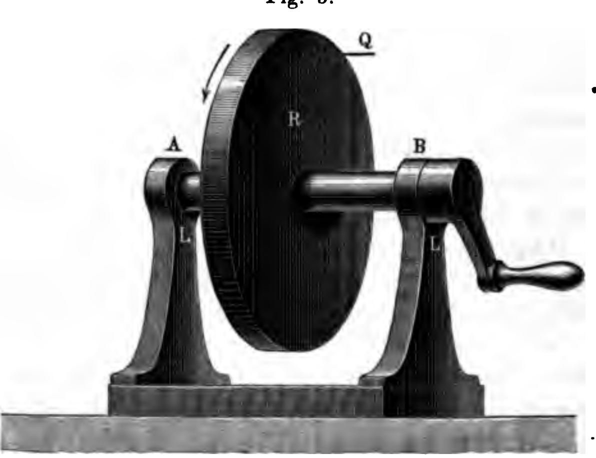
ändert, so dauert diese Bewegung ungeändert fort. Sobald aber eine störende äussere Kraft Q_1, etwa senkrecht auf die Kreisebene gerichtet, von einer Seite auf T zu wirken beginnt, ändert T seine Bahn. Soll dies verhindert werden, so muss genau gleichzeitig eine der Q_1 gerade entgegengesetzte und ihre gleiche äussere Kraft Q_2 auf T zur Wirkung kommen. Ist $Q_1 = 1$ Pfund, so muss Q_2 ebenfalls $= 1$ Pfund sein, steigt Q_1 auf 100 Zentner, so muss Q_2 nach demselben Gesetze ebenfalls auf 100 Zentner steigen; auf die absolute Grösse von Q_1 kommt es also nicht an, bloss auf die fortwährende Erhaltung des Gleichgewichtes der auf T wirkenden, die Störung drohenden Kräfte. In der Natur ist die Erhaltung dieses Zustandes, welche die Bereithaltung gleichvertheilter Kräfteursachen voraussetzt, sehr schwer zu erfüllen; vielleicht besteht der Fall bei Himmelskörpern nicht einmal; doch können wir ihn

ja immerhin als vorhanden voraussetzen. Die Schwierigkeiten seiner Herbeiführung sind aber dann einleuchtend.

Ganz anders und viel einfacher als die Natur hier verfahren würde, verfahren wir in der Maschine. Um die Punkte des Rades *R*, Fig. 3, in Kreisen zu führen, versehen wir es mit einer aus festem



Fig. 3.



Stoff hergestellten Achse, welche wir etwa an zwei Stellen *A* und *B* mit abgedrehten cylindrischen Einkerbungen, deren geometrische Achsen wir genau zusammenfallend machen, versehen, und legen die Achse mit diesen Eindrehungen in genau entsprechend ausgedrehte Höhlungen eines festen Lagergestelles *L*, welches wir am Boden befestigen. Setzen wir nun, etwa mittelst eines geeigneten Handgriffes, das Rad in Bewegung, so vollzieht jeder Punkt desselben, welcher ausserhalb der geometrischen Achse der Lagerhöhlungen liegt, eine Kreisbewegung um einen Punkt der genannten geometrischen Achse. Tritt jetzt eine seitliche Kraft *Q*, welche eine Störung droht, auf, so geschieht, wenn wir das Material an Rad, Achse und Lager vollständig starr annehmen, keine Aenderung der Kreisbewegung, gleichviel, ob die Kraft *Q* gross oder klein ist, ob sie mitunter verschwindet und dann wieder eintritt, ihre Richtung beibehält oder ändert. Auch ihr wird hierbei fortwährend das Gleichgewicht gehalten, aber in anderer Weise als oben. Sowie die Kraft *Q* zu wirken beginnt, ruft sie im Innern des Rades, der Achse, des Lagergestelles innere Kräfte, Molekularkräfte hervor, welche ihr im Maasse völlig gleich, in der Richtung entgegen-

gesetzt sind. Die Wirkungen der Kräfte also, an sich betrachtet, sind hier eben dieselben oder ganz entsprechende, wie die oben am Trabanten angreifenden. Es herrscht aber der Unterschied, dass jene äusseren Kräfte von einander unabhängig waren, während hier die Einwirkung der äusseren Kraft die Ursache der Gegenwirkung der Molekularkräfte wird.

In unseren wirklich ausgeführten Maschinen verwenden wir keine starren Materialien, da solche nicht vorhanden sind; vielmehr stehen uns nur solche zu Gebot, welche bei geeigneten Abmessungen nur wenig durch äussere Kräfte in ihrer Form geändert werden, so wenig, dass die entstehenden Abweichungen von der ursprünglichen Form vernachlässigbar klein ausfallen. Die Wahl entsprechender Abmessungen und Formen ist die Aufgabe des Maschinenbauers. Sieht man von jenen statthaften sehr kleinen Abweichungen also ab, so zeigt sich, dass die Lösung der Aufgabe durch die Maschine vorhanden, und dass sie ausserdem wesentlich verschieden von derjenigen durch Naturerscheinung ist.

Während im ersten Systeme, welches man ein kosmisches nennen kann, den äusseren messbaren mechanischen Kräften ebensolche Kräfte entgegentreten, werden bei dem zweiten, dem machinalen [7]) Systeme, jenen äusseren Kräften solche entgegengesetzt, welche im Inneren der das System konstituirenden Körper verborgen waren und in Folge der äusseren Einwirkung sofort erscheinen, um genau in der erforderlichen Weise zu wirken. Man könnte Schillers Räthsel vom Feuerfunken mit kleiner Travestirung, die der Leser erlauben möge, auf diese Kräfte anwenden:

Ich wohn' in einem „eisernen“ Haus,
Da lieg' ich verborgen und schlafe;
Doch ich trete hervor, ich eile heraus,
Gefordert mit eiserner Waffe.

Die Kraft wird herausgefordert, und sofort ist sie da; die äussere herausfordernde Kraft hört auf, und sofort ist auch der Gegner wieder verschwunden, der die Form seines Gehäuses, seiner Wohnung, so energisch vertheidigt hat. Nichts ist von den inneren Kräften zu merken, so lange man sie nicht durch äussere Kräfte weckt. Sie sind verborgen in dem Inneren des Körpers. Die Analogie mit der Wärmephysik ist wohl nicht zu weit hergeholt, wenn man diese molekularen Kräfte, welche den Bestand unserer Körperwelt gewährleisten, verborgene, latente Kräfte

nennt, gegenüber den messbaren, sensiblen, welche durch Massenanziehung und andere Ursachen von aussen eine Einwirkung auf die Körper erlangen. Die beiden Systeme unterscheiden sich also durch die Entgegenstellung von sensiblen gegen unabhängige andere sensible einerseits und von sensiblen gegen abhängige latente Kräfte andererseits.

Doch haben wir uns beide Systeme in einer ganz besonderen Einfachheit konstruirt, welche genügend allgemeine Schlussfolgerungen vielleicht noch nicht gestattet. Erweitern wir deshalb das kosmische System etwa auf ein ganzes Planetensystem mit Zentralkörper, Planeten und Trabanten, von kreisförmigen und elliptischen Bahnen, und fügen wir zu unserem Rade andere Räder mit Achsen hinzu, mit dem ersten durch Zahnräder oder ähnliche Mittel so verknüpft, dass sie sich gegenseitig Drehung mittheilen, so dass eine zu irgend welchem Zwecke geeignete Maschine daraus entsteht. Dann bemerken wir, dass bei dem kosmischen Systeme die gegenseitigen Bewegungen der Körper sowohl hinsichtlich ihrer Bahnen als ihrer Geschwindigkeiten von den beeinflussenden sensiblen Kräften völlig abhängig sind, und die Körper auf einander nur durch sensible Kräfte wirken, dass dagegen bei dem machinalen Systeme die Bewegungsbahnen sowohl ganz bestimmte sind, als auch kein Punkt seine Geschwindigkeit ändern kann, ohne dass alle übrigen beweglichen Punkte in völlig abhängiger Weise dasselbe thun, dass also hier die störenden sensiblen Kräfte ohne Einfluss sind, nämlich überall durch die latenten Kräfte aufgehoben werden. Letztere sind es nicht minder, welche die bewegenden Kräfte von Körper zu Körper übertragen. Unsere obige Unterscheidung ist also allgemein, soweit es sich um die Gattung der zur Wirkung kommenden Kräfte handelt.

Die beiden als Beispiele gewählten Fälle sind indessen extreme; im allgemeinen stehen die kosmischen und machinalen Systeme nicht so weit aus einander wie hier. Sie nähern sich gegenseitig in zwischenliegenden Fällen mehr oder weniger. So kann man von der Pflanze etwas ähnliches, wie vom allgemeinen machinalen Systeme insofern aussagen, als man in derselben die Saftbewegungen durch ziemlich feste Kanäle oder Röhrchen in bestimmt vorgeschriebenen Wegen vor sich gehen sieht. Allein genau wie vorhin ist das Verhältniss doch nicht, da der leichte Stengel, das Reis, der Ast von den kosmischen Kräften leichte bis sehr starke Formänderungen erleidet. Am nächsten unserem

machinalen Systeme würde im Pflanzenreich etwa die Saftleitung in den Gefässen eines festen starken Baumstammes stehen; denn nur in diesem würden die Formänderungen sich der vernachlässigbaren Kleinheit nähern. Auch in einzelnen wirklichen Maschinen finden Vorgänge statt, welche denen unseres kosmischen Systems verwandt sind; z. B. die Wasserbewegung an einem jener sogenannten Strauberräder, welche im Gebirge zum Betrieb der Sägemühlen dienen, und die von dem treibenden Wasserstrom fast wie von einem wilden Wasserfall umsprüht werden. Die beiden Systeme sind also nicht haarscharf geschieden; aber sie haben doch immerhin deutliche Unterschiede, welche um so stärker werden, je vollkommener jedes derselben seiner Bedeutung nach wird. Je vollkommener man die Wasserräder gemacht hat, um so mehr sind die dem freien Spiele der Kräfte überlassenen Wasserstrahlen verschwunden; das Strauberrad ist in die glatt und leise laufende Turbine übergeführt worden, welcher das Sprühen und Stäuben der Wassertheilchen bis auf einen sehr kleinen Rest versagt ist. Aus dem schaukelnden Wippbaume, mit Hilfe dessen der wallonische Ziegelmacher oder der hindostanische Bauer den Wasserkübel nieder in den Brunnen und gefüllt aus demselben herausschwingt, ist eine Balancier-Maschine mit sanft und regelmässig arbeitender Pumpe geworden. Die kosmische Freiheit der Naturerscheinung ist in der Maschine in Ordnung und Gesetz übergeführt, welche äussere Gewalten gewöhnlicher Art nicht zu erschüttern vermögen. Dem gegenüber treten in dem unbehinderten Walten der Naturkräfte auch latente Kräfte mitwirkend ein; so bei dem Sturze des Wassers über die Felskante und gegen das Gestein seines Rinnsals, wo die anprallenden Wasserstrahlen zurückgeschleudert werden; so an dem Meteorsteine, welchen die Erdatmosphäre jäh von seiner Bahn ablenkt. Hiernach ist das Wirken der latenten Kräfte gegen sensible nicht das alleinige und entscheidende Merkmal der Maschine selbst, sondern wir haben darin nur ein Hauptkennzeichen des die Maschine enthaltenden, maschinenartigen, deshalb machinal genannten Systems vor uns, und müssen die Gesetzmässigkeit, welche einem als machinal zu bezeichnenden Systeme den Namen Maschine erwirbt, noch ins Auge fassen, um den Begriff der letzteren klar zu erhalten.

Die Verhinderung der störenden Bewegungen durch latente Kräfte ist in der Maschine Prinzip. Seine Anwendung ist aber mit besonderen Absichten verknüpft. Wenn wir eine Maschine

ausführen, so wollen wir damit eine Vorrichtung zur Ausübung bestimmter mechanischer Arbeiten schaffen, sei es eines Transportes, oder einer Umformung eines Körpers, oder beider zugleich. Zu dem Ende wollen wir in der Maschine ganz bestimmte Bewegungen hervorrufen, und zwar sobald als wir durch eine mechanische Kraft in der Maschine Bewegung erzeugen. So kann unser obiges Rad, wenn wir seine Scheibe *R* als Seiltrommel gestalten und ein Seil daran passend befestigen, zur Lastenhebung verwendet werden; bilden wir die Scheibe aus Sandstein, so kann sie als Schleifstein dienen u. s. w. Als störend sehen wir dann aber jede Bewegung an, welche von der bezweckten abweicht, und begaben deshalb im voraus die Träger der latenten Kräfte, d. i. die Körper, aus welchen wir die Maschine zusammensetzen, mit solcher Anordnung und solchen Formen, und bauen sie so widerstandsfähig, dass sie jedem der bewegten Körper nur eine einzige Bewegung und zwar die bezweckte gestatten. Lassen wir dann die zu verwendende mechanische Naturkraft einwirken, so entsteht die bezweckte Bewegung. Unser Verfahren ist also ein zweifaches, einmal negatives: Ausschliessung der Möglichkeit anderer als der gewünschten Bewegung, und dann positives: Einleitung von Bewegung. Das Resultat ist, dass die verwendete Naturkraft die gewünschte mechanische Arbeit vollzieht.

Die Ausführung einer Maschine kann mehr oder weniger vollkommen sein; je vollkommener sie ist, desto mehr entspricht sie dem, was wir hier als eigentliche Absicht, eigentliches Ziel der Herstellung der Maschine erkannt haben. Nach der gewonnenen Einsicht vermögen wir daher jetzt eine Definition der Maschine aufzustellen. Es ist folgende:

Eine Maschine ist eine Verbindung widerstandsfähiger Körper, welche so eingerichtet ist, dass mittelst ihrer mechanische Naturkräfte genöthigt werden können, unter bestimmten Bewegungen zu wirken[8]).

Aus dem Vorstehenden geht hervor, dass sich die Maschinenprobleme auf einem deutlich begrenzten Gebiete bewegen, und dass sie sich sehr wohl von den allgemeinen mechanischen Problemen abtrennen lassen, wie oben behauptet worden.

Während die allgemeine Mechanik die Bewegung untersucht, welche unter den allgemeinsten Voraussetzungen durch das Spiel mechanischer Kräfte hervorgerufen wird, befasst sich die Maschinenmechanik mit fest eingeschränkten, und zwar durch einen be-

grenzten Kreis von Mitteln eingeschränkten Bewegungen. Sie schöpft ihre obersten Gesetze aus demselben Urquell wie die allgemeine Mechanik, der sie sich auch, als der umfassenderen, unterordnet; aber sie kann als gesonderte Wissenschaft ihren Bezirk von dem Gesammtgebiete trennen, und hat die Aufgabe, innerhalb dieses realen Bezirkes systematische Ordnung zu schaffen, und ihre besonderen Gesetze aufzustellen. Arbeit genug, die auch ihren Mann herausfordert. Nach meiner Ansicht ist es sehr wünschenswerth, dass die Maschinenmechaniker sich dieser Einsicht nicht verschliessen, wie in neuerer Zeit vielfach auch bei uns, namentlich aber in Frankreich, geschehen ist. Denn dadurch wird dasjenige hervorgerufen, was ich oben die Verflüchtigung und Verdünnung der Probleme genannt habe, eine Verfahrungsweise, von welcher sich die Praktiker, welche die Maschine weiterbilden wollen, also für welche die Untersuchungen eigentlich angestellt werden, unbefriedigt abwenden. Sie als Spezialisten haben das Recht, bis zu einem gewissen Grade volle Konzentration auf die Aufgabe zu fordern, und scheuen für diesen Zweck selbst auch keine Mühe; nicht aber wollen sie das Entführen der Aufgabe auf ein anderes Gebiet, wo ihnen der reale Boden zu entschwinden droht, ohne dass sie Gewinn für das Reale daselbst ernten.

§. 2.

Die Maschinenwissenschaft.

Die lehrhafte Ausführung dessen, was die obige Definition der Maschine besagt, hat mit der fortschreitenden Entwicklung des polytechnischen Unterrichtes einen ausgedehnten wissenschaftlichen Apparat entstehen lassen. Ganz abgesehen von den als Grundlage dienenden mathematischen und Naturwissenschaften, lassen sich drei bis vier Wissenschaften unterscheiden, welche um der Maschine willen entstanden sind. Ihr gemeinsamer Zweck ist die Beleuchtung des Kausalzusammenhanges der Erscheinungen in der Maschine. Man fasst sie wohl als die praktische Mechanik zusammen. Ich nenne sie hier Wissenschaften, ohne Prätensionen damit verbinden zu wollen; nenne man sie zweiter oder dritter Ordnung, oder wie immer; sie bedienen sich der wissenschaftlichen Methode und behandeln nach der-

selben gesonderte Untersuchungsgebiete; darin sind sie nach und nach zu einer Selbständigkeit gediehen, welche ihre Sonderung erforderlich gemacht hat.

Zuerst die Maschinenlehre. Sie legt sich verschiedene Nebenbezeichnungen bei, als allgemeine oder beschreibende, spezielle, theoretische. Die allgemeine Maschinenlehre behandelt die Gesammtheit der vorhandenen Maschinen, und zwar beschreibend; sie will kennen lehren, welche Maschinen vorhanden und wie sie beschaffen sind, und liefert uns dadurch einen Ueberblick über die Gesammtheit der Bestrebungen, die Maschine herzustellen. Sie verfährt in vollem Sinne teleologisch, indem sie die Zwecke der Maschineneinrichtungen überall nachzuweisen sucht. Ihre Klassifikationen wählt sie sich nach möglichst allgemeinen Grundsätzen. Heutzutage ist eine vollständige beschreibende, oder wirklich allgemeine Maschinenlehre kaum noch möglich, da die Zahl der Maschinen zu übergross geworden ist; nur noch Klassen und Prototypen derselben lassen sich lehren, wenn wirkliche Allgemeinheit erreicht werden soll. Andernfalls entsteht, dem jedesmaligen Lernbedürfniss sich in der Stille anpassend, die spezielle Maschinenlehre, welche einzelne Klassen heraushebt und mit voller Ausführlichkeit behandelt. Meistens ist die spezielle Maschinenlehre gleichzeitig theoretische, d. h. sie gibt die Theorie der speziell gelehrten Maschinen. Darunter wird verstanden die Lehre von den sensiblen Kräften und den Bewegungen, welche in der Maschine vorkommen, woraus dann Folgerungen wegen der angemessensten Verwerthung der Kräfte gezogen werden. Die theoretische Maschinenlehre weicht also von der beschreibenden wesentlich darin ab, dass sie die der Einrichtung und dem Zwecke nach bekannte Maschine behandelt, und lehrt, welche Beschaffenheit derselben zu verleihen ist, damit sie ihren Zweck am besten erfüllt. „Theoretische" Maschinenlehre ist deshalb gleichbedeutend mit „Maschinentheorie". In Deutschland wird sie heute meist richtig an- und aufgefasst, indem man in ihr die Maschine selbst als Aufgabe und Ausgangspunkt nimmt. Die Franzosen dagegen wissen noch immer nicht loszukommen von der Anschauung, dass die Maschinen nur als Paradigmen der angewandten Mechanik erscheinen, so als Beispiele, nur nebenher, wobei nicht klar wird, warum man nicht alle übrigen Anwendungen der Mechanik gleich mit behandelt. Spricht man, dem Kern der Sache etwas näher kommend, von der Anwen-

dung der Mechanik „auf die Maschinen“, wie Poncelet thut, so ist man prinzipiell immer noch nicht weit genug gegangen, da man ja unter diesem Titel alle Maschinen sammt und sonders behandeln müsste, was aber auch nicht geschieht. Von diesem Bann der Unklarheit hat uns erst Redtenbacher freigemacht, und dadurch den Grund zu der Frische und Kräftigkeit gelegt, welche der deutsche Maschinenbau-Unterricht gegenüber dem französischen aufzeigt. In dieser Richtung, in der Scheidung der Aufgaben des Maschinenwesens in solche für einzelne Wissenschaften oder Wissenszweige liegen Redtenbachers dauerndste Verdienste, welche keineswegs immer von den Epigonen verstanden worden sind. Hier liegt auch der Grund, warum sein Auftreten, ich möchte sagen, so elektrisch wirkte, und ihm seiner Zeit so rasch die maschinenstudirende Jugend Deutschlands zuführte.

Die thoretische Maschinenlehre befasst sich mit Vorliebe mit den Kraftmaschinen, also den Dampfmaschinen, Wasserrädern, Turbinen, Windrädern u. s. f., oder, um auf unsere Definition zurückzugehen, mit derjenigen besonderen Einrichtung der Maschine, vermöge deren sie die Naturkräfte auf die günstigste Weise aufnimmt. Doch beschäftigt sie sich auch mit Arbeitsmaschinen, und offenbar gehören auch diese in ihr Gebiet. Man ist indessen vielfach gewohnt, diesen Theil der speziellen Maschinenlehre der mechanischen Technologie zuzurechnen. Solches geschieht übrigens nicht durchstehend, und wenn man will, auch nicht ganz mit Recht. Denn die mechanische Technologie will die Verarbeitung der Stoffe durch mechanische Mittel, die in einer Unzahl von Fällen auch nicht Maschinen sind, lehren. Sie hat deshalb ihre eigenen Wege und muss sich von besonderen Gesichtspunkten leiten lassen. Sie nähert sich dabei auch der Maschine, aber von einer ganz anderen Seite, als die Maschinenlehre, und es ist begreiflich, dass beide ihre Ansprüche auf dasselbe Lehrobjekt erheben können. Dennoch brauchen deshalb die beiden Disziplinen nicht vermengt zu werden.

Der hier in Frage kommende besondere Theil der Technologie, oder also, wenn man will, der technologische Theil der speziellen Maschinenlehre, befasst sich mit der Wirkung, welche die Naturkräfte vermöge ihrer besonderen Verwendung durch die Maschine auf den zu bearbeitenden Körper ausüben, also mit derjenigen besonderen Einrichtung der Maschine, vermöge deren sie die aufgenommene Wirkung auf die geeignetste

Weise abgibt. Im Ganzen also gibt die spezielle Maschinenlehre die Theorie der Aufnahme und Verwerthung der Naturkräfte durch die als gegeben angenommene Maschine.

Die dritte Wissenschaft ist die Maschinenbaukunde oder Konstruktionslehre. Auch sie ist durch Redtenbacher von ihrer unrichtigen Unterordnung unter die angewandte Mechanik befreit und auf eigene Füsse gestellt worden. Sie hat die Aufgabe, zu lehren, wie den Körpern, welche die Maschine bilden, die in unserer Definition angegebene Eigenschaft der Widerstandsfähigkeit zu geben sei. Um diese Eigenschaft in ihrem vollen Sinne zu fassen, muss sie dieselbe nach zwei bereits vorgezeichneten Richtungen erwägen, nämlich als die Haltbarkeit nicht bloss gegen die sensiblen, sondern auch gegen die latenten Kräfte.

Erstere übernimmt sie als gegeben aus der theoretischen Maschinenlehre, z. B. in der Form des Dampfdruckes auf den Kolben der Dampfmaschine, des Wasserdruckes am Umfang der Turbine u. s. w.; sie beanspruchen die Festigkeit der Körper. Letztere, die latenten Kräfte, übertragen die Kraftwirkung von Körper zu Körper, z. B. von Kolbenstange zu Pleuelstange, von Zahnrad zu Zahnrad u. s. f., und bewirken dabei nothwendig Reibung und Abnützung. Die Maschinenbaukunde muss also nach diesen zwei deutlich geschiedenen Richtungen ihre Untersuchungen regeln. Indem sie die Mittel zur Lösung der sich bietenden Aufgaben mit den technologischen Rücksichten in Einklang bringt, rundet sie sich zu einer wirklich technischen Wissenschaft ab. Die Zweiseitigkeit ihrer Richtung, die nach den sensiblen und den latenten Kräften, hebe ich hier als ein Hauptprinzip hervor, welches bisher zwar faktisch anerkannt, aber nicht theoretisch erkannt worden ist; dasselbe hat sich aber, wie man sah, deutlich aus den allgemein entwickelten Grundsätzen ergeben.

Nun endlich enthält unsere Definition noch eine vierte Eigenschaft der Maschine, welche in den drei besprochenen Gebieten nicht prinzipiell erledigt worden ist; das ist diejenige Eigenthümlichkeit der Einrichtung, vermöge deren nur bestimmte Bewegungen in der Maschine entstehen. Soweit die Bewegungen durch Kräfte bedingt sind und Kräftewirkungen nach sich ziehen, hat die theoretische Maschinenlehre sie freilich bereits behandelt. Dagegen übernahm letztere die Bewegungen, soweit sie Ortsveränderungen sind, als gegeben. Demnach bleibt noch eine letzte Reihe von Untersuchungen übrig, nämlich derjenigen von der Ver-

ursachung der gegenseitigen Abhängigkeit der Ortsveränderungen in der Maschine. Sondert man die sich hierbei darbietenden Aufgaben unter Voraussetzung der Lösung der drei vorigen aus, so stellen sie sich als ein besonderes Untersuchungsgebiet dar, welches mit den Mitteln der angewandten Mathematik und Mechanik zu bearbeiten ist. Die systematische Kenntniss ihrer Lösungen bildet die von uns zu behandelnde Wissenschaft: **die Kinematik** oder **Maschinengetriebelehre.** Sie ist, wie aus dem Bisherigen hervorgeht, die Wissenschaft von derjenigen besonderen Einrichtung der Maschine, vermöge deren die gegenseitigen Bewegungen in derselben, soweit sie Ortsveränderungen sind, zu bestimmten werden.

Der Unterschied zwischen der hierin gegebenen Eingrenzung der Kinematik und derjenigen, welche Ampère zwar nicht vollständig gibt, aber doch andeutet (vergl. Einleitung S. 14), verdient hervorgehoben zu werden. Er ist vor allem der, dass hier die Kinematik grundsätzlich als wesentlicher Theil nicht der allgemeinen Mechanik, wie Ampère will, sondern der Maschinenwissenschaft aufgefasst wird, was bei den Nachfolgern Ampère's auch mehr oder weniger geschehen ist, ohne dass man es Wort haben wollte. In dieser Auffassung liegt als entscheidend für die Untersuchungsobjekte die Unterordnung unter die Hauptgesetze, welche für den machinalen Zustand gegenüber dem kosmischen Geltung haben, und zugleich der Anschluss an die anderartige Behandlung, welche die Maschine in den drei übrigen Disziplinen erfahren muss. Insofern also schöpft die Kinematik nicht isolirt aus dem Absoluten, wie bei Ampère, sondern wirkt im Bewusstsein der Nachbarlichkeit und der Gemeinsamkeit des Hauptobjektes mit anderen Forschungen. Dagegen sind wir auf unserem eigenen Wege in dem Punkte mit Ampère zusammengetroffen, dass die Kinematik nur Ortsveränderungen betrachtet. Nur schliessen wir dabei nicht mit Ampère die Kräftewirkungen aus, sondern nehmen ihre Probleme in jedem Falle als gelöst an, und berücksichtigen die durch sie gestellten Bedingungen, was ein grosser Unterschied ist. Die an diesem Punkte bei Ampère bleibende Unklarheit war es, was seine Nachfolger genöthigt hat, Bruchstücke der drei anderen Disziplinen, deren sie nicht entrathen konnten, gelegentlich einzuschieben. So finden wir z. B. bei Haton einen Abriss der Festigkeitslehre, bei Laboulaye diese und ausserdem die Lehre von der Reibung u. s. w.

Fassen wir das Gefundene kurz zusammen, so sehen wir, dass man die praktische Mechanik zerfällt hat in:

Allgemeine Maschinenlehre,
Spezielle oder theoretische Maschinenlehre,
Maschinenbaukunde,
Maschinengetriebelehre.

Die letztere Wissenschaft ist offenbar für den Unterricht im Maschinenwesen ebenso wichtig, wie die drei vorhergehenden, ja in vielen Beziehungen muss sie denselben vorangehen, um ihnen die Wege zu bahnen, weshalb einzelne Partien der Kinematik auch in allen dreien jeweilig behandelt wurden. Die drei letzteren Wissenschaften vereinigt geben erst das volle Verständniss der Maschine, welche die erste als vorhanden aufweist und teleologisch deutet. Alle vier greifen mehrfach ineinander; erst in ihrer Vereinigung ergeben sie die volle Ausbildung des Maschinentechnikers, welcher seinen Aufgaben überall völlig gerecht werden will.

§. 3.

Allgemeine Lösung des Maschinenproblems.

Wir wollen jetzt dazu übergehen, allgemeine Grundsätze für das kinematische Verfahren festzustellen, um dadurch einen Standpunkt zu gewinnen, von welchem aus sich die Lösungsweise der Probleme mit einem Blicke übersehen lässt. Die oben entwickelten Grundanschauungen über die machinalen Systeme werden dazu die Anleitung liefern. Die Träger der Kräfte, durch welche wir die bewegten Punkte der Maschine veranlassen, ihre Bewegungen auf bestimmt beabsichtigte einzuschränken, sind Körper von geeigneter Widerstandsfähigkeit; auch gehören die bewegten Punkte selbst solchen Körpern an. Demnach werden in der Maschine die bewegten Körper durch sie berührende Körper verhindert, andere als die gewünschten Bewegungen zu vollziehen. Diese Berührung muss demnach, wenn die Aufgabe immer gelöst sein soll, unausgesetzt stattfinden, was gewisse Eigenschaften der sich berührenden Körper voraussetzt. Indem wir diese Eigenschaften näher erörtern wollen, nehmen wir zunächst die Körper als vollkommen widerstandsfähig an und nehmen keine Rücksicht auf ihre Masse — mit anderen Worten, wir setzen die Aufgaben der

Maschinenlehre und der Maschinenbaukunde als gelöst voraus — sie haben dann für uns nur geometrische Eigenschaften.

Um nunmehr einen bewegten Körper *A* von gegebener Form mit einem ruhenden *B* in steter Berührung zu erhalten, müssen wir dem letzteren eine besondere Form geben. Sie wird gefunden, indem man den bewegten Körper *A* in alle aufeinanderfolgenden Lagen bringt, die er gegen *B* annimmt, und die von den Lagen der körperlichen Figur *A* eingehüllte Figur bestimmt. Ist z. B. *A* ein Parallelepiped (Fig. 4), welches mit einer seiner Flächen in

Fig. 4.



einer Ebene bleibt, so kann die Figur von *B* die Gestalt eines bogenförmigen Kanals annehmen. Das geometrische Gebilde, als welches hier *B* herzustellen ist, heisst die Umhüllungsform zu dem bewegten Gebilde *A*. Die Beziehung, welche jetzt *B* zu *A* hat, gilt nun aber auch von *A* gegen *B*; d. h. *A* ist nun auch Umhüllungsform zu *B*, oder gehört wenigstens mit allen denjenigen Punkten, welche mit *B* in Berührung kommen, der Umhüllungsform von *A* gegen *B* an. Das Verhältniss ist also ein gegenseitiges.

Solche gegenseitige Umhüllungsformen können in vielen Fällen körperlich hergestellt werden. Umgibt man einen bewegten Körper mit ruhenden Körpern, welche seine Umhüllungsform an sich tragen, derartig, dass keine zweite Bewegung ohne Beseitigung der Körper möglich ist, so ist seine Bewegung, wenn überhaupt eine solche entsteht, nothwendig die den Umhüllungsformen angehörige, bei deren Bildung vorausgesetzte Bewegung.

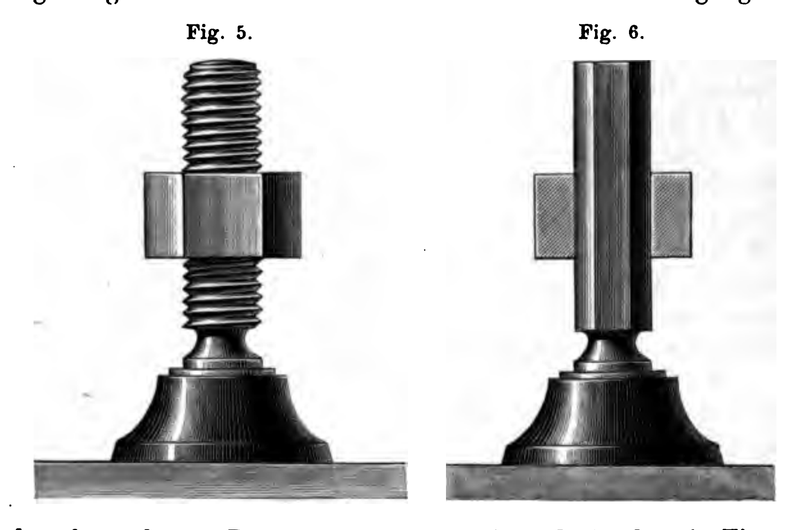
Zur Umhüllung eines bewegten Körpers ist, wie wir sehen, mindestens ein anderer Körper nöthig. Hat man deren mehrere herstellen müssen, weil vielleicht die Form des erstgefundenen zwar die Umhüllung bewirkte, aber doch nicht alle fremden Bewegungen ausschloss, so kann man sie mit dem ersten zu einem Körper vereinigen. So z. B. kann man bei dem zweitheiligen Zapfenlager sich die Unter- und Oberschale zu einem Stück ver-

einigt denken. Wir finden also, dass zum wenigsten immer zwei Körper auf diese Weise zusammengehören, welche dann gegenseitig dasselbe Verhältniss, nämlich das der Umhüllung, zu einander haben. Die Maschine besteht nun aus lauter solchen paarweise zusammengehörigen Körpern. Dieselben sind die eigentlichen kinematischen oder getrieblichen Elemente der Maschine.

Der Zapfen und das Lager, die Schraube und die Schraubenmutter sind solche Paare von Elementen. Wir sehen hier, dass die kinematischen Elemente der Maschine nicht einzeln, sondern immer nur paarweise zur Verwendung kommen, oder dass die Maschine nicht sowohl aus Elementen, als aus Elementenpaaren besteht. Dieser besondere Grundzug der Zusammensetzung der Maschine unterscheidet diese auf bemerkenswerthe Weise von anderen Gesammtheiten.

Ist ein kinematisches Elementenpaar gegeben, so kann man mittelst desselben dadurch eine bestimmte Bewegung erzielen, dass man das eine der beiden Elemente festhält oder feststellt, d. h. gegen ein gegebenes Raumsystem, welches als Ausgang der Bewegungsbetrachtung gewählt wird, zur Ruhe bringt. Das andere Element bleibt dann beweglich, aber nur in der einzigen, dem Paare eigenthümlichen Weise. Seine Relativbewegung zu dem zugehörigen Elemente wird dann seine absolute Bewegung in

Fig. 5. Fig. 6.



dem betrachteten Raumsystem. So macht z. B. in dem in Fig. 5 dargestellten Elementenpaare Schraube und Mutter das letztere

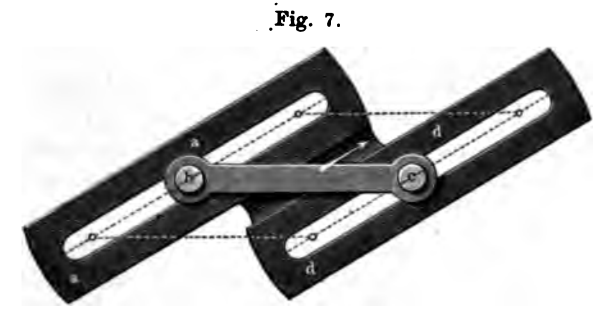
Element, wenn es in Bewegung gesetzt wird, mit allen seinen Punkten Schraubenbewegungen von bestimmter Form, sobald die Schraube mit passendem Fuss oder dergleichen versehen, von uns fest aufgestellt wird.

In dem Elementenpaare in Fig. 6, bestehend aus einem Prisma und einem dasselbe umschliessenden Hohlprisma, vollzieht das letztere mit allen seinen Punkten geradlinige Bewegungen von gleicher Ausdehnung, wenn es nach fester Aufstellung des Vollprismas in Bewegung gesetzt wird.

Mit Elementenpaaren kann man eine grosse Zahl von Bewegungen verwirklichen, wie später bei deren ausführlicher Betrachtung noch näher erwiesen werden wird. Die volle Verwerthung ihrer Eigenschaften bietet indessen noch ein Mittel dar, die durch einzelne Paare erzielbaren Bewegungen zu einer ganz bedeutenden Mannigfaltigkeit zu erheben. Dies geschieht durch Verbindung von Elementenpaaren.

Suchen wir vorerst einmal zwei Elementenpaare *ab* und *cd* zu verbinden, so kann dies zunächst nur so geschehen, dass eines der Elemente des einen Paares mit einem Elemente des anderen verbunden, nämlich zu einem körperlichen Gebilde vereinigt wird. Dies wird ausserdem wechselseitig zu geschehen haben, da ja sonst eine Abhängigkeit aller Theile von einander nicht eintreten, also Neues nicht geschaffen würde. Wenn wir also *b* mit *c* verbinden, so haben wir *d* mit *a* zu vereinigen; oder wenn *b* mit *d*, so *c* mit *a*. Sehen wir an einem Beispiel zu, was erreicht wird. Zunächst seien die Paare *ab* und *cd* identisch, *b* und *c* seien nämlich Cylinder, *a* und *d* prismatische Schlitze in Platten, in welche die Cylinder *b* und *c* so passen, dass sie nicht seitlich darin verschoben werden

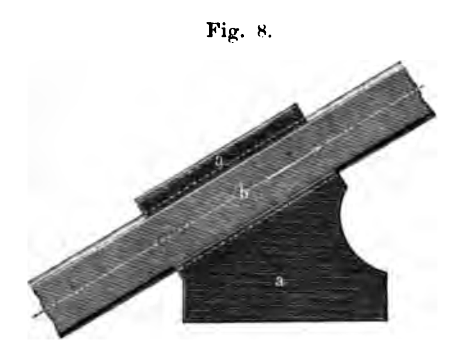
Fig. 7.



können, und auch nicht in der Richtung der Cylinderachsen beweglich sind. Wir vereinigen nun *b* und *c* parallel mit einander, Fig. 7,

und stellen auch die zwei Schlitze parallel und verbinden sie. Dann werden offenbar alle Punkte von *b c*, wenn *a d* festgestellt wird, sich parallel den Kanten der Schlitze bewegen müssen, wie der Pfeil andeutet. Alle Punkte von *b c* durchlaufen dabei gleiche gerade Bahnen. Die Bewegung findet also ganz ebenso statt, als wenn *b c* einem Prisma angehörte, welches in ein Hohlprisma eingefasst wäre, etwa wie bei dem Paare *a b* in Fig. 8. Wir hätten also durch die Ausführung der Verbindung zweier Paare nichts anderes erzielt, als was auch durch ein einfaches Paar erreicht werden konnte; unser Experiment wäre also ziemlich unfruchtbar abgelaufen.

Fig. 8.



Stellen wir aber einmal *a* und *d* nicht parallel, sondern etwa so wie es Fig. 9 andeutet, schief gegeneinander, so wird die Sache

Fig. 9.



schon ganz anders. Die Mittelpunkte von *b* und *c* legen nun nicht mehr immer gleiche Wege in den Kerben zurück, und in Folge dessen durchlaufen die übrigen Punkte nicht mehr gleiche Bahnen; der Punkt *p* z. B. beschreibt eine Kurve. Die Bewegung ist also ganz anders ausgefallen als vorhin.

Dennoch herrscht zwischen den beiden Fällen, die durch Fig. 7 und 9 versinnlicht werden, die Verwandtschaft, dass *b*—*c* und *a*—*d* beidemal je einen festen Körper bilden, oder als solcher betrachtet werden können, dass also in beiden Fällen doch nur ein Elementenpaar erzielt worden ist, und zwar durch Verbindung von zwei

Körperpaaren. Dieselben haben, nachdem wir ihre Verbindungsart etwas abgeändert haben, verschiedene Resultate geliefert, bildeten aber immerhin nur ein Paar.

Hiernach ergibt die wechselseitige Verbindung der Elemente zweier Elementenpaare im allgemeinen wieder ein Elementenpaar, welches von den einzelnen Elementenpaaren verschieden sein kann. — Dies ist schon ein bemerkenswerthes und nicht wenig folgenreiches Resultat.

Gehen wir nun weiter zur Verbindung von drei oder sogleich von vier Elementenpaaren. Es seien die Paare

$$ab \qquad cd \qquad ef \qquad gh$$

gegeben. Verbinden wir von jedem derselben jedes Element mit je einem eines anderen Paares, so behalten alle einzelnen Paare ihre Eigenschaft und haben dazu alle in gleicher Weise eine neue bekommen. Die Verbindung kann auf vielerlei Arten geschehen, z. B. in einer Reihenfolge wie die obige:

$$b — cd — ef — gh — a$$

oder in der folgenden:

$$b — dc — ef — hg — a$$

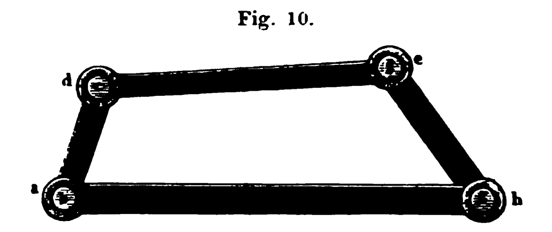
u. s. w. Das Ganze bildet dann eine in sich selbst zurückkehrende Gliederung, einer endlosen Kette vergleichbar, die aus lauter einzelnen ineinander gehängten Gliedern besteht. In der That wollen wir eine solche Elementenpaar-Verbindung eine Kette und zwar eine kinematische Kette nennen. Der Körper, welcher aus der Verbindung von Elementen aus verschiedenen Paaren entstanden ist, ist dann ein Glied der kinematischen Kette. Jedes Glied unserer obigen Kette besteht aus zwei Elementen, die Kette hat also hier so viele Glieder, als sie Paare enthält.

In derselben haben je zwei aufeinander folgende Glieder eine bestimmte Relativbewegung, nämlich diejenige, welche das die Glieder verknüpfende Paar vorschreibt. Zwei Glieder aber, welche ein drittes zwischen sich haben, besitzen nicht ohne weiteres bestimmte gegenseitige Bewegungen. Solche treten nur dann ein, wenn die Kette so beschaffen ist, dass jede Stellungsveränderung eines Gliedes gegen das überbenachbarte eine Stellungsveränderung aller anderen Glieder gegen das genannte Glied hervorruft. In einer kinematischen Kette, welche diese Eigenschaft besitzt, hat jedes Glied nur eine Relativbewegung gegen jedes andere Glied; wenn also eine Relativbewegung in der Kette herbeigeführt wird, sind alle Glieder gezwungen,

bestimmte Relativbewegungen zu vollziehen. Eine solche kinematische Kette nenne ich eine **zwangläufig geschlossene** oder kurzweg **geschlossene** Kette.

Als Beispiel kann die in folgender Figur dargestellte leicht verständliche Kette dienen. Sie besteht aus vier gleichen Paaren *ab*, *cd*, *ef*, *gh*, jedes aus einem cylindrischen Zapfen und einer

Fig. 10.



denselben umschliessenden Hülse gebildet, und jedes parallel den anderen liegend. In derselben beschreibt jedes Glied gegen ein benachbartes nur Kreisbewegungen. Jede Drehung von *ha* gegen *gf* ruft aber eine Lagenänderung von *bc* sowohl als von *de* hervor, die Kette ist also geschlossen.

Eine geschlossene Kette an sich bedingt noch keine bestimmten absoluten Bewegungen. Damit dies geschehe, ist ein ähnliches Verfahren einzuschlagen, wie oben beim Elementenpaar; es ist nämlich ein Glied der kinematischen Kette gegen das als ruhend angesehene Raumsystem festzuhalten oder festzustellen. Die Relativbewegungen der Glieder gehen alsdann in absolute über. Eine geschlossene kinematische Kette, von welcher ein Glied festgestellt ist, heisse ein **Mechanismus** oder **Getriebe.**

Obige Kette kann hiernach auf vier verschiedene Arten zu einem Mechanismus gemacht werden, nämlich (indem wir das festgehaltene Glied durch Unterstreichung auszeichnen) wie folgt:

1) *b —— c* d —— e f —— g h —— a
2) b —— c *d —— e* f —— g h —— a
3) b —— c d —— e *f —— g* h —— a
4) b —— c d —— e f —— g *h —— a*

Ueberhaupt kann somit eine zwangläufig geschlossene kinematische Kette auf soviele Arten zum Getriebe gemacht werden, als sie Glieder hat[9]).

Um ein Kettenglied festzustellen, muss es mit passend geformten Befestigungstheilen versehen sein.

Die Demonstration zu vervollständigen, denken wir uns z. B. einen genügend festen Ständer, wie ihn Fig. 11 zeigt, als Gestell

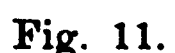
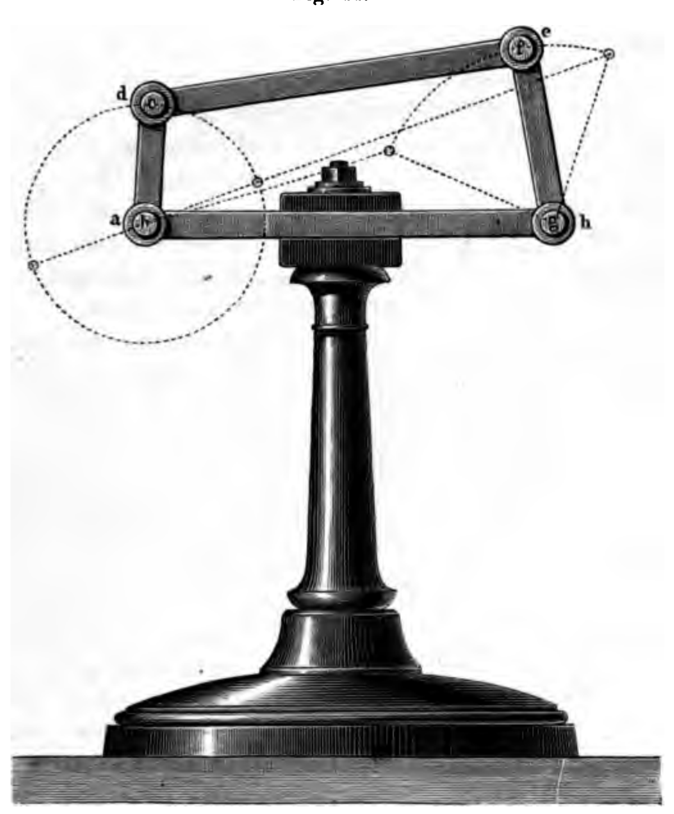


Fig. 11.



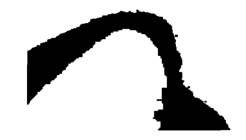
benutzt, an welchem unsere Kette mit einem Kettengliede, z. B. *ah*, festgeklemmt wird, worauf es kinematisch mit *ah* aus einem Stücke besteht. Die Bewegung, in welche das Getriebe nunmehr versetzt werden kann, ist durch Punktirung einiger Hauptstellungen angedeutet; sie ist die bekannte, zwischen „Balancier“ und „Kurbel“ stattfindende Bewegung.

Die Form des tragenden Körpers ist für den kinematischen Vorgang ohne Zweifel gleichgültig. Doch fällt sie leicht auf, da in der Regel eine gewisse Neigung vorwalten wird, sie ähnlich zu

[illegible] gestaltet werden, mit denen ja der [illegible] Ruhe, der Unerschütterlichkeit gemein [illegible] Nachbarschaft er auch häufig anzubrin- [illegible] Theile der Mechanismen haben daher [illegible] der Theoretiker auf sich gezogen. Wir [illegible] der Einleitung (Seite 13) bei der Borgnis'- [illegible] Maschinenorgane gesehen, wo die „Gestelle“ [illegible] Klasse aufgezählt wurden. Eine andere [illegible] Gefühles ist die von vielen beliebte Eintheilung [illegible] Maschinentheile in aktive und passive. Die letzteren [illegible] als die an dem jeweilig festgehaltenen kinema- [illegible] Kettengliede vorkommenden Elemente. Eine spezifische [illegible] derselben von den aktiven besteht aber nicht, da [illegible] aus derselben Kette gebildeten Mechanismen der- [illegible] Maschinentheil bald ruhend, bald bewegt auftritt.

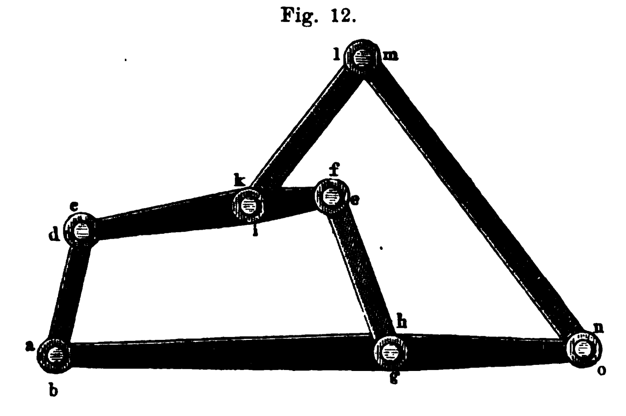
In den Getrieben, welche aus einer Kette von der oben beschriebenen Bildung gebildet werden können, bewegt sich ein dem festgestellten benachbartes Glied entsprechend dem Elemente, mittelst dessen es mit dem festgestellten Gliede gepaart ist; auf seine Bewegungsform wirkt also bloss dieses eine Elementenpaar ein. Anders ist es mit dem ihm an der anderen Seite benachbarten Gliede: die Bewegung dieses Gliedes hängt sowohl von den Elementenpaaren an seinen Anknüpfungspunkten, als von den Bewegungen der Nachbarelemente ab, ist also bei unserem Beispiele durch vier Elementenpaare bestimmt. Allein seine Bewegung gegen das ruhende Glied ist doch eine ebenso bestimmte, als ob es mit ihm bloss durch ein einziges Paar zusammenhienge. Deshalb können wir auch das frühere Verfahren, mittelst dessen wir zur Kette gelangten, aufs neue bei ihm in Anwendung bringen, nämlich abermals ein Element eines neuen Paares mit ihm verbinden, und die Kette weiter ausbilden. Auch die neue Kette wird zu dem Anfangsgliede zurückzuführen sein, um den Schluss zu bewirken. Wir erhalten auf diese Weise eine zusammengesetzte kinematische Kette, welcher gegenüber wir die oben gefundene als eine einfache zu bezeichnen haben. Fig. 12 zeigt eine solche zusammengesetzte Kette, aus sechs Gliedern von ganz derselben Gattung, welche wir oben benutzten, bestehend. Zwei der Glieder enthalten jetzt je drei Elemente:

$$d — i — e$$
und $$a — h — o.$$



Denken wir uns wieder *a* —— *h*, das ist *a* —— *h* —— *o*, festgestellt, so hat nun *k* —— *l* eine noch verwickeltere Bewegung

Fig. 12.



als *d* —— *e*; die Zusammmensetzung der Ketten gewährt also die Möglichkeit, Bewegungen von mehr und mehr verwickeltem Gesetze zu verwirklichen, und somit für eine grosse, ja unendliche Zahl von Bewegungsarten kinematische Mittel zu beschaffen. Von den zusammengesetzten Ketten gilt wie von den einfachen, dass sie durch Feststellung irgend eines ihrer Glieder zum Getriebe gemacht werden können, d. h. auf so viele Arten, als sie Glieder haben.

Für sich abgeschlossene Mechanismen lassen sich auch wieder zusammensetzen, und dadurch zu einem höheren Ganzen verknüpfen; dem Begriffe nach lassen sich aber solche zusammengesetzte Mechanismen unter die aus zusammengesetzten Ketten gebildeten stellen.

Hier haben wir nun das allgemeine Verfahren zur Bildung von Mechanismen vor uns:

Der Mechanismus ist eine geschlossene kinematische Kette; die kinematische Kette ist zusammengesetzt oder einfach, und besteht aus kinematischen Elementenpaaren; diese tragen die Umhüllungsformen zu den Bewegungen an sich, welche die einander berührenden Körper gegenseitig haben müssen, damit alle anderen Bewegungen als die gewünschten aus dem Mechanismus ausgeschlossen bleiben.

Ein kinematisches Getriebe oder Mechanismus kommt in Bewegung, wenn auf eines seiner beweglichen Glieder eine mechanische Kraft, welche die Lage desselben zu ändern im Stande ist,

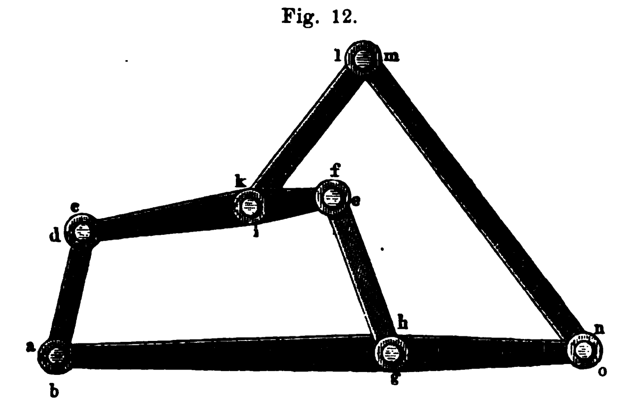
gestalten, wie Architekturtheile gestaltet werden, mit denen ja der Körper die Eigenschaft der Ruhe, der Unerschütterlichkeit gemein haben soll, und in deren Nachbarschaft er auch häufig anzubringen ist. Die festgehaltenen Theile der Mechanismen haben daher oft die Aufmerksamkeit der Theoretiker auf sich gezogen. Wir haben das schon in der Einleitung (Seite 13) bei der Borgnis'schen Eintheilung der Maschinenorgane gesehen, wo die „Gestelle“ (supports) als besondere Klasse aufgezählt wurden. Eine andere Aeusserung desselben Gefühles ist die von vielen beliebte Eintheilung der Maschinentheile in aktive und passive. Die letzteren sind nichts anderes, als die an dem jeweilig festgehaltenen kinematischen Kettengliede vorkommenden Elemente. Eine spezifische Verschiedenheit derselben von den aktiven besteht aber nicht, da in verschiedenen aus derselben Kette gebildeten Mechanismen derselbe Maschinentheil bald ruhend, bald bewegt auftritt.

In den Getrieben, welche aus einer Kette von der oben beschriebenen Bildung gebildet werden können, bewegt sich ein dem festgestellten benachbartes Glied entsprechend dem Elemente, mittelst dessen es mit dem festgestellten Gliede gepaart ist; auf seine Bewegungsform wirkt also bloss dieses eine Elementenpaar ein. Anders ist es mit dem ihm an der anderen Seite benachbarten Gliede; die Bewegung dieses Gliedes hängt sowohl von den Elementenpaaren an seinen Anknüpfungspunkten, als von den Bewegungen der Nachbarelemente ab, ist also bei unserem Beispiele durch vier Elementenpaare bestimmt. Allein seine Bewegung gegen das ruhende Glied ist doch eine ebenso bestimmte, als ob es mit ihm bloss durch ein einziges Paar zusammenhienge. Deshalb können wir auch das frühere Verfahren, mittelst dessen wir zur Kette gelangten, aufs neue bei ihm in Anwendung bringen, nämlich abermals ein Element eines neuen Paares mit ihm verbinden, und die Kette weiter ausbilden. Auch die neue Kette wird zu dem Anfangsgliede zurückzuführen sein, um den Schluss zu bewirken. Wir erhalten auf diese Weise eine zusammengesetzte kinematische Kette, welcher gegenüber wir die oben gefundene als eine einfache zu bezeichnen haben. Fig. 12 zeigt eine solche zusammengesetzte Kette, aus sechs Gliedern von ganz derselben Gattung, welche wir oben benutzten, bestehend. Zwei der Glieder enthalten jetzt je drei Elemente:

$$d \text{ —— } i \text{ —— } e$$
$$\text{und } a \text{ —— } h \text{ —— } o.$$

Denken wir uns wieder a —— h, das ist a —— h —— o, festgestellt, so hat nun k —— l eine noch verwickeltere Bewegung

Fig. 12.



als d —— e; die Zusammmensetzung der Ketten gewährt also die Möglichkeit, Bewegungen von mehr und mehr verwickeltem Gesetze zu verwirklichen, und somit für eine grosse, ja unendliche Zahl von Bewegungsarten kinematische Mittel zu beschaffen. Von den zusammengesetzten Ketten gilt wie von den einfachen, dass sie durch Feststellung irgend eines ihrer Glieder zum Getriebe gemacht werden können, d. h. auf so viele Arten, als sie Glieder haben.

Für sich abgeschlossene Mechanismen lassen sich auch wieder zusammensetzen, und dadurch zu einem höheren Ganzen verknüpfen; dem Begriffe nach lassen sich aber solche zusammengesetzte Mechanismen unter die aus zusammengesetzten Ketten gebildeten stellen.

Hier haben wir nun das allgemeine Verfahren zur Bildung von Mechanismen vor uns:

Der Mechanismus ist eine geschlossene kinematische Kette; die kinematische Kette ist zusammengesetzt oder einfach, und besteht aus kinematischen Elementenpaaren; diese tragen die Umhüllungsformen zu den Bewegungen an sich, welche die einander berührenden Körper gegenseitig haben müssen, damit alle anderen Bewegungen als die gewünschten aus dem Mechanismus ausgeschlossen bleiben.

Ein kinematisches Getriebe oder Mechanismus kommt in Bewegung, wenn auf eines seiner beweglichen Glieder eine mechanische Kraft, welche die Lage desselben zu ändern im Stande ist,

einwirkt. Die Kraft verrichtet dabei eine mechanische Arbeit, welche unter bestimmten Bewegungen vor sich geht; **das Ganze ist also dann eine Maschine.**

Die Einrichtung, vermöge deren die Naturkraft zur Wirkung gelangt, ist entsprechend den Zwecken, welchen die Maschine dienen soll, zu treffen. Wird sie z. B. so gewählt, dass die Naturkraft dauernd einzuwirken vermag, so erhält die Maschine einen dauernden Gang, wie die Wasserräder, Turbinen u. s. w. Kommt der von der Kraft beeinflusste Theil nach einiger Zeit in eine Lage, in welcher die Naturkraft ihre Einwirkung nicht mehr auszuüben vermag, so muss, wenn der Gang zu einem dauernden gemacht werden soll, die für die Einwirkung geeignete Lage künstlich wieder hergestellt werden, wie dies z. B. bei der Uhr geschieht. Bei manchen Maschinen ist der Gang nur auf sehr kleine Lagenänderungen der bewegten Kettenglieder eingeschränkt, wie bei den Waagen, wo dann eine wiederholte Herstellung der zur Wirkung geeigneten Lage erforderlich ist. Soviel nur beispielsweise; wir werden später systematisch auf diese sämmtlichen Fragen zurückkommen.

Im Gebrauche der Bezeichnung Maschine verfährt man nicht durchweg folgerichtig. Gewöhnlich wendet man dieselbe mit Vorliebe nur da an, wo Kraft oder Bewegung auffallend oder dauernd zur Erscheinung kommen. So wollen manche die eben angeführte Waage nicht eine Maschine nennen, da bei ihr die Bewegung auf enge Grenzen eingeschränkt ist; die Waage muss aber sehr wohl eine Maschine heissen, indem bei ihr Kräfte und Bewegungen in ganz derselben Weise benutzt werden, wie bei anderen Maschinen. Eher kann man schon zugeben, dass die Messapparate des Geometers, z. B. der Theodolith und andere, keine Maschinen seien. Hier sind zunächst Mechanismen ganz genau in dem oben besprochenen Sinne benutzt, und auf diese wirken auch Kräfte in der gedachten Weise ein, sobald man von ihnen Gebrauch macht. Allerdings aber sind die Kräfte klein und die Mechanismen werden nur vorübergehend gebraucht; es mag daher immer die Bezeichnung Instrument den Vorzug verdienen. Unrichtig ist der Name Maschine aber auch hier nicht, wovon man sich überzeugt, wenn man die englischen Riesenteleskope mit ihren mächtigen Stell- und Wende-Apparaten näher ansieht. Sie sind hinsichtlich der Art wie des Zweckes des Mechanismus nicht verschieden von kleinen Beobachtungsfernröhren, nur dem Grade nach weichen sie von ihnen ab. Auch auf Maschinen, welche die Natur hervor-

bringt, wollen manche den Namen nicht angewendet wissen. Ein paar Steinblöcke, welche kniehebelartig einen dritten aus seiner Lage kippen, können ganz nach Art des Getriebes Fig. 11 kinematisch zusammenhängen; die sogenannten Steintische oder Wippsteine, welche die Verwitterung in manchen Gegenden hervorgebracht hat, sind wie eine Balkenwaage gebildet; Islands Springquellen wirken in gewisser Weise ähnlich wie die Dampfmaschine, und befördern dazu noch das Wasser durch förmliche senkrecht stehende Röhren, die der Sinterniederschlag in vorzüglicher Güte bildete; man kann ihnen den Namen Maschine nicht vorenthalten. Ich führe dies übrigens bloss an, um die Brauchbarkeit des Wortes für unsere Zwecke zu prüfen, da der wissenschaftlichen Strenge die Bedeutung der benutzten Namen nicht gleichgültig sein darf. Fern liegt es mir, den Gebrauch des Namens da aufdrängen zu wollen, wo man auf denselben keinen Werth legt. Aber die angeführten Beispiele passen sowohl unter unsere Definition der Maschine, als auch unter die obige Nachweisung von deren allgemeiner Zusammensetzung. Es zeigte sich also nur, dass trotz der Nichtanwendung des Namens auf die gedachten Fälle derselbe doch richtig ist, nämlich dazu dient, die in der Definition zusammengefassten Eigenschaften gemeinsam zu bezeichnen.

Wir sahen vorhin, auf welche Weise aus dem Mechanismus eine Maschine wird. Nach der gegebenen Entwicklung besteht die Maschine aus einem oder mehreren Mechanismen, deren nach dem Vorangegangenen jeder sich in kinematische Ketten, und diese wieder in Elementenpaare muss auflösen lassen. In diesem Auflösen besteht die Analyse der Maschine, die Untersuchung des kinematischen Inhaltes der Maschine, geordnet nach Mechanismen, kinematischen Ketten und Elementenpaaren. Ihr gegenüber steht die Synthese derselben, d. i. das Angeben der kinematischen Elemente, kinematischen Ketten und Mechanismen, aus welchen die Maschine bei gegebenem Zwecke zu bilden ist.

Es gibt grosse Gebiete in den exakten Wissenschaften, wo Analyse und Synthese ohne einander bestehen können, wo wenigstens grosse Erfolge aus blosser Anwendung der Deduktion aus feststehenden allgemeinen Sätzen erzielt werden können. In unserem Falle aber können die beiden geistigen Thätigkeiten nicht ohne einander ausdauern, und zwar deshalb, weil die Maschine nicht oder nur sehr selten als vorhandenes Naturerzeugniss uns entgegentritt, sondern weil wir sie selbst gemacht haben, d. h.

weil sie im Grunde durch das synthetische Verfahren von uns erzeugt ist. Wir sind also durch eine häufig dunkel gebliebene Induktion zu ihr gekommen, und Deduktion und Analyse sind daher das Mittel für uns oder sollen es für uns werden, um zur bewussten Induktion und Synthese zu gelangen.

Die Synthese ist hier, wie in den meisten Fällen, die ungleich schwierigere der beiden Aufgaben. Sie wurde bisher nur kaum anders als empirisch vorgenommen. Ihr Gebiet ist eben dasjenige, was der Sprachgebrauch das Erfinden der Maschine nennt, und worüber in der Einleitung ausführlich gehandelt wurde. Im Grunde ist das Erfinden nichts anderes als Induktion, nämlich ein fortwährendes Setzen und darauf folgendes Analysiren der aus Analogie sich darbietenden möglichen Lösungen. Hiermit wird so lange fortgefahren, bis das mehr oder weniger klare Ziel erreicht ist, welches sich wegen des Dunkels, das über dem ganzen Verfahren schwebt, meistens selbst mit verändert. Auf diese Weise ist schon mancher mittelst eines wahren Labyrinthes von versuchten und wieder verworfenen Lösungen, von denen jede sich an die vorige anschloss, zu einer dem Anfang oft recht nahe liegenden schliesslichen Lösungsform gelangt. Ja mancher meiner Leser, der mit krauser Stirn viele Stunden und Tage vor machinalen Aufgaben zugebracht, wird es durchgemacht haben, dass ihn seine im Kreise gehenden Tastversuche zu einem bekannten und nur nicht als gut erkannten Problem nach viel mühevollem Probiren — „Pröbeln" nennt es die süddeutsche Mundart — hinleiteten. Die Hauptursache der Mühseligkeit aber besteht darin, dass man die Mechanismen nicht überschaut oder nicht erkennt, weil ihr eigentlicher Inhalt, die kinematische Verkettung mit ihren Gesetzen, dem Mechaniker in seinen Gedankenoperationen bisher nicht zur Verfügung stand. Die Bekanntschaft mit ihr würde unter zehn Fällen neunmal das wahrhaft Naheliegende alsbald gezeigt, und den Weg zum Fernerliegenden gekürzt haben. Denn die wissenschaftliche Getriebelehre räumt, wenn sie die Analyse vollständig bemeistert, einen grossen Theil der Schwierigkeiten vollständig hinweg. Die noch bleibenden sind dann auch ganz anderer Art als die früheren. Während das empirische Verfahren ein Hineintasten in einen dunklen Raum ist, in welchem man bei gutem Glück die Lösung zu treffen hofft, kommt hier das auf eine geläufige Analyse gestützte induktive Verfahren zur Verwendung. Die Schwierigkeiten bestehen also nur in den gesteigerten Anfor-

derungen an die Fähigkeit zur Induktion. In dieser selbst aber folgt die Kinematik denselben logischen Gesetzen, wie alle anderen Wissenschaften. Es wird sich später sehr oft Gelegenheit finden, zu zeigen, wie bedeutend der Unterschied zwischen diesem Verfahren und dem alten ist. Einstweilen bin ich freilich nur in der Lage, aus allgemeinen Grundsätzen heraus dies vor dem Leser erschliessen zu können.

Wir sehen hiermit das Maschinenproblem zunächst theoretisch gelöst, oder mit anderen Worten die Art der Lösung desselben in allgemeinen Zügen in abstrakter Form vorgezeichnet vor uns. Damit ist allerdings der zu nehmende Gang erst angedeutet. Die aufgestellten allgemeinen Sätze von den Elementenpaaren, Ketten und Mechanismen sind gleichsam nur die Inhaltsangaben, die Aufschriften zusammengerollter Blätter, die wir nun erst allmählich entfalten müssen. Es bedarf, um die Lösung des Problems von der Allgemeinheit des Grundsatzes zu der Besonderheit der Anwendung hinzuführen, des genauen Studiums jener Einzelheiten. Dieses Studium werden wir in den folgenden Abhandlungen beginnen.

Dass dasselbe nicht einfach und leicht ist, wird begreiflich sein; mir wenigstens scheint es unmöglich, schnell über so tiefgreifende Fragen hinauszukommen. Wer in das Maschinenwesen mit Aufmerksamkeit hineinblickt, endeckt in demselben so viele Erscheinungen von so schwer zu überblickendem Zusammenhang, dass er auf leichtes Eindringen in die tief zu Grunde liegende Gesetzmässigkeit nicht schliessen kann, und dass er begreift, wie es oft der ganzen Kraft des einzelnen Menschen bedürfen konnte, um manche der sich darbietenden Aufgaben auch nur einen Schritt vorwärts zu bringen. Man betrachte z. B. den Spinnstuhl, wie er sich in drei Menschenaltern erst zu seinem heutigen, immer noch verbesserungsfähigen Stande entwickeln konnte, trotzdem die besten Mechaniker an ihm arbeiteten; man sehe die Wandlungen der Nähmaschine an, und prüfe beide nachher rückwärts vom fertigen Zustande aus, so bekommt man eine Vorstellung von den Schwierigkeiten, welche die Theorie wenigstens in abstracto überwinden soll. Ausserdem sind die oben entwickelten Sätze völlig neu. Sie erfordern daher das sorgfältige Eingehen auf zahlreiche Besonderheiten; auch auf solche, welche dem Maschinenbauer schon vollständig bekannt scheinen, welche aber nach jenen Grundsätzen noch nicht untersucht sind und vor denselben noch manche neue Seite offenbaren werden. Somit werden wir erst nach eini-

ger Zeit zu solchen Sätzen gelangen, welche zur unmittelbaren Anwendung geeignet sind.

Wenn wir aber soweit gekommen sein werden, die vorhandenen Gesetzmässigkeiten nachgewiesen zu haben, so stehen wir auch an der Grenze, bis zu welcher die Lehrmeisterin Theorie sich als Führerin anbieten darf.

Denn zur Anwendung der Gesetze bedarf es seitens des Praktikers eines besonderen Aufwandes von Scharfsinn, um in der Maschine das zu erhalten, was man ein praktisches Werk nennt, worunter man ein solches versteht, welches die ihm gestellte Aufgabe ohne zu grossen Aufwand von Mitteln dauernd gut löst. Dies kann nur sehr theilweise gelehrt, nur am Beispiel völlig klar gemacht werden. Denn die wissenschaftliche Abstraktion kann für die Maschine nur die Möglichkeiten liefern; sie besitzt kein Kriterium für die Auswahl zwischen „praktisch“ und „unpraktisch“. Man hat oft der Theorie diesen ihr innewohnenden Mangel vorgeworfen; solches geschieht aber mit Recht nur da, wo sie das reale Gebiet hartnäckig ignorirt. Von dem praktischen Gebiete haben wir uns nur deshalb auf das der Abstraktion entfernt, um die verwickelten Gänge unserer Aufgabe mit Klarheit erkennen zu können. Jene Auswahl aber zwischen brauchbar und unbrauchbar ist es, welche uns immer wieder zum Realen zurückführen muss. Die Kinematik muss deshalb vielfach bei der Praxis in die Schule gehen und hat wiederholentlich die Aufgabe, zu empirisch Gefundenem die Findungstheorie und die Theorie überhaupt erst zu machen. Und es ist auffallend: es gibt fast keine kinematische Aufgabe, fast keine noch so kühne Wendung in den theoretischen Sätzen, für welche sich in der Praxis nicht irgend ein Beispiel schon vorfände. Ein Nachhinken braucht übrigens deshalb die Theorie immer noch nicht zu sein, wie sie es allerdings nicht selten gewesen ist; vielmehr fasst sie die in dem Vorfindlichen enthaltene Gesetzmässigkeit erst recht zusammen; sie ballt aus den einzelnen Wahrheitsfunken erhellende Flammen, und ermöglicht dadurch neue und entschiedene Schritte auf der Bahn der Weiterentwicklung. Deshalb ist gegenseitige Achtung das richtige Verhältniss zwischen Theorie und Praxis des Maschinenwesens.

ZWEITES KAPITEL.

PHORONOMISCHE LEHRSÄTZE.

§. 4.

Vorbemerkungen.

Die Getriebelehre ist eine abgeleitete Wissenschaft und hat, wie schon früher besprochen, ihre wesentlichen Hilfsquellen in der angewandten Mechanik und Mathematik. In ersterer trifft sie eine besondere Auswahl, indem sie vor allem solche Bewegungen betrachtet, welche durch latente Kräfte vorgeschrieben werden, und demnach durch geometrische Eigenschaften der Träger dieser Kräfte bedingt werden. Es ist deshalb ein ganz bestimmtes Gebiet der Mechanik, nämlich das geometrische, in welchem ihre Probleme zum grossen Theile wurzeln. Dieses Gebiet wird in wissenschaftlichen Werken nicht immer gleich benannt. Am besten nennt man es wohl Phoronomie. Vielfach ist es auch Kinematik genannt worden. Allein dies darf als missverständlich bezeichnet werden. Wenigstens hat Ampère, als er den Namen schuf, ihm nicht einen solchen Sinn beigelegt. Auch ist es ganz unnöthig, den Namen Kinematik so umzudeuten, da Phoronomie vollkommen ausreicht und obendrein viel bezeichnender ist als Kinematik. Die Phoronomie will nämlich lehren, wie die Tragung, Forttragung, Fortbewegung zu messen sei; sie ist die Lehre von der Messung der Fortbewegung der Körper, und zwar der Körper aller Art, und hat sich

insbesondere ausgebildet zur Lehre von der geometrischen Darstellungsweise der Bewegungen. Wir wollen deshalb hier bei der Benennung Phoronomie bleiben. Ihrer Lehrsätze haben wir uns vielfach, vor allem soweit sie die festen Körper betreffen, zu bedienen, und sind daher veranlasst, einen Theil derselben zu besprechen.

Der rein mathematische Theil der in Betracht kommenden phoronomischen Aufgaben ist es, was den Inhalt der von Prof. Aronhold so genannten „kinematischen Geometrie" ausmacht. Sie ist thatsächlich ein Theil der Phoronomie, und es steht wohl nichts im Wege, sie auch entsprechend zu nennen. Verbindet man ihre Betrachtungen mit denjenigen über die Massenwirkungen der bewegten Punktsysteme, so entsteht die „phoronomische Mechanik". In ihr ist ohne Zweifel das zu finden, was die neueren französischen Dissidenten unter „reiner Kinematik" verstehen wollen (vergl. Einleitung S. 19). Hoffentlich wird sich diese Einsicht verallgemeinern, worauf aus der Art von Verwirrung, die heute noch besteht, sich die verschiedenen Richtungen mit Klarheit aussondern werden. Jedenfalls ist zu wünschen, dass man der jetzt bestehenden Mehrdeutigkeit der Benennungen ein Ende macht.

Unseren deutschen Polytechnikern wurden bis ganz vor Kurzem nur die niederen, einfacheren Theile der Phoronomie, nämlich diejenigen, welche sich auf den bewegten Punkt beziehen, systematisch bekannt gemacht und sind in zahlreichen Lehrbüchern so vielfach erörtert, dass sie dem heutigen praktischen Mechaniker, der sich für wissenschaftliche Auffassung interessirt, geläufig sind; die Probleme vom Punktsystem dagegen wurden nur beispielsweise und gelegentlich vorgeführt; sie erscheinen in den dem Techniker gebotenen Lehrbüchern nur selten, und dann eher als interessante Zuthaten, denn als wesentliche Probleme. Nur von diesen letzteren, deren Wichtigkeit für die Kinematik ganz ausserordentlich ist, soll hier die Rede sein. Ich habe deshalb darauf zu rechnen, dass ein grosser Theil der folgenden, in den Gang unserer Untersuchungen eingeschobenen Sätze auch geübten Ingenieuren noch Neues darbieten werde. Eine der wichtigsten Eigenschaften der zu besprechenden Lösungen ist die ihnen als Prinzip zu Grunde liegende Anschaulichkeit, die vor der Phantasie sichtbar werdende Form des Vorganges der Ortsveränderungen; ich bin bestrebt gewesen, dieselbe, wo es möglich schien, noch vollständiger zu machen, als es bisher zu geschehen pflegte.

§. 5.

Relative Bewegung in der Ebene.

Bei der Beobachtung der Bewegung eines Punktes sind wir nicht im Stande, dessen absolute Bewegung mit unseren Sinnen zu erfassen; vielmehr beobachten wir nur das Verhältniss der Lagen des Punktes zu Körpern oder Punkten unserer Umgebung. Dieses für jeden Zeitpunkt als bekannt betrachtete Verhältniss nennt man die relative Bewegung des Punktes, oder wenn statt eines blossen Punktes ein Körper betrachtet wird, die relative Bewegung des Körpers gegen die uns umgebenden Raumtheile. Stehen diese im Raume still, so ist jenes Verhältniss der absoluten und relativen Bewegung des Körpers gleich; stehen sie aber nicht still, so sind absolute und relative Bewegung verschieden. Für unsere Untersuchungen hat die absolute Bewegung im Kosmos keine Bedeutung; wir dürfen deshalb den Begriff der absoluten Bewegung hier dahin einschränken, dass wir die relative Bewegung gegen den Beobachtungsraum, wenn man also will, gegen die Erde, aber auch gegen ein Schiff, einen Bahnzug u. dergl. als absolute Bewegung oder wenigstens als „für uns absolute Bewegung" auffassen.

Vorerst untersuchen wir Bewegungen in der Ebene, d. i. also die Bewegung von Punkten in einer Ebene, auf welche der Beobachtungsraum eingeschränkt ist.

I. Satz. Die relative Bewegung eines Punktes P gegen einen anderen Punkt Q in der Ebene

Fig. 13.

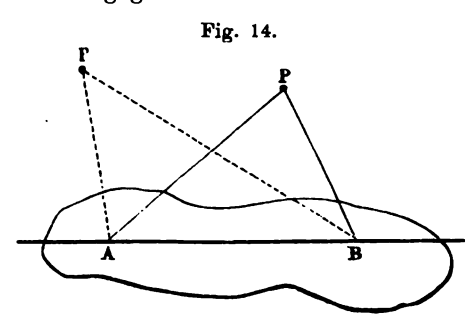
P Q

findet auf der geraden Verbindungslinie PQ der Punkte statt, gleichviel wie die Punkte sich einzeln gegen die Beobachtungsebene bewegen. Kennt man den Abstand PQ für jeden Zeitpunkt, so ist die relative Bewegung von P gegen Q und von Q gegen P bekannt. Dieser erste Satz ist nicht auf die ebene Bewegung eingeschränkt; er gilt vielmehr von der allgemein räumlichen Bewegung zweier Punkte.

Beispiel. Die Relativbewegung des Mittelpunktes P eines Planeten gegen den Mittelpunkt Q des Zentralkörpers, den er irgendwie umkreist, ist eine Oscillation auf dem Verbindungsstrahle PQ.

II. Satz. Die relative Bewegung eines Punktes P gegen eine Ebene, in welcher er sich bewegt, ist bekannt, wenn die relativen Bewegungen von P gegen zwei Punkte A und B einer mit der

Fig. 14.

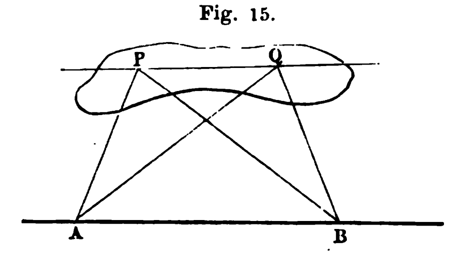


Bewegungsebene unbeweglich zusammenfallenden ebenen Figur gegeben sind. Sie ist ihrer Bahn nach der geometrische Ort der Spitze P des Dreiecks APB, welches z. B. in $AP'B$ übergehen kann.

Beispiel. *Die relative Bewegung des **Mittelpunktes** P eines Planeten gegen die **Ebene** des Sonnensystems, in welchem der Planet ohne Störungen umläuft, ist ein Kegelschnitt, welcher durch Parallachsenmessung vom Zentralkörper aus bestimmt werden kann.*

III. Satz. Die relative Bewegung einer ebenen Figur gegen eine Ebene, in welcher sie sich bewegt, ist bekannt, wenn die relativen Bewegungen zweier ihrer Punkte, P und Q, gegen zwei feste

Fig. 15.



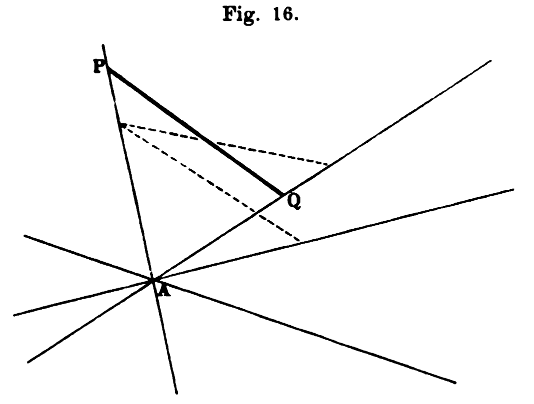
Punkte A und B der Bewegungsebene gegeben sind. Denn in diesem Falle kann man von den Lagen von P und Q aus die Lagen aller übrigen Punkte der beweglichen Figur als Spitzen von Dreiecken bestimmen, von denen alle drei Seiten der Grösse nach bestimmt sind und die Basis auch noch der Lage nach gegeben ist. Wir können demnach bei unseren Betrachtungen jede ebene

Figur durch eine in ihr gelegene feste Strecke ausdrücken. Auch ist deshalb die Bewegung der Strecke PQ gegen die Strecke AB diejenige der Figur PQ gegen die Figur AB.

Beispiel. Um von einem Planeten, der sich mit gerader Ekliptik in einem Sonnensysteme bewegt, die relative Bewegung seines Aequatorschnittes gegen die Ebene des Sonnensystemes bestimmen zu können, muss man die relativen Bewegungen von wenigstens zwei Punkten des genannten Schnittes gegen die Bewegungsebene kennen. Abgesehen von der grösseren Komplikation des Falles liefern an Gestirnen die sichtbaren Unebenheiten der Oberfläche, an der Sonne die Flecken, die unentbehrlichen Marken für solche Beobachtungspunkte.

IV. Satz. Die relative Bewegung einer ebenen Figur PQ gegen einen Punkt A in ihrer Bewegungsebene ist ein durch A

Fig. 16.



gehendes ebenes Strahlenbüschel von unbestimmten Winkeln. Denn die Figur kann bei denselben Winkeln der Strahlen die verschiedensten Lagen annehmen, also eine mannigfaltige Bewegung in der Ebene vollziehen, ohne dass die beobachteten Winkel darüber Aufschluss geben.

Beispiel. Hiernach kann eine kinematische Kette, welche bei ebener Bewegung nur an einem Punkte der Bewegungsebene festgehalten ist, keine bestimmte Bewegung herbeiführen, mag auch die Relativbewegung jenes Punktes gegen die Kette völlig bestimmt, d. h. diese eine geschlossene Kette sein. Die scheinbar widersprechende Annahme, dass gewisse neuere Geradführungs-Mechanismen nur eines festen Punktes bedürften, beruht auf einer irrigen Anschauung. Hält man bei einem solchen Mechanismus wirklich nur einen Punkt (oder strenger eine Achse) fest, so hören die übrigen Theile auf, gezwungene Bewegungen zu vollziehen.

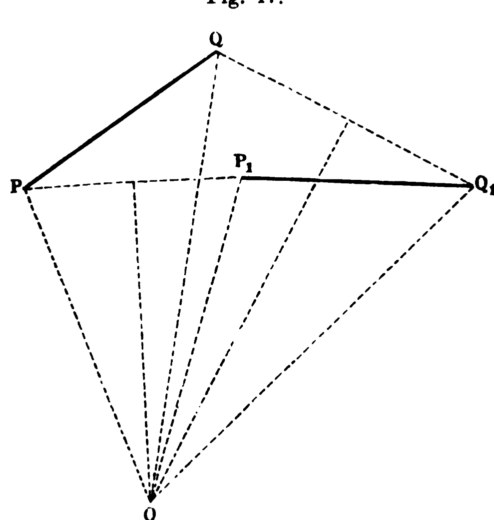
§. 6.

Zeitweiliger Drehpunkt oder Pol; das Polvieleck.

Die vorstehenden vier Sätze bilden die Grundlage der Phoronomie des Punktsystems und sind in gewisser Hinsicht erschöpfend. Jedoch liefern sie noch keine anschauliche Vorstellung von der Aufeinanderfolge der relativen Lagen. Diese haben wir jetzt näher ins Auge zu fassen.

Wenn von einer ebenen Figur zwei nicht parallele Lagen PQ und $P_1 Q_1$ in der Ebene gegeben sind, so kann man sie aus der

Fig. 17.

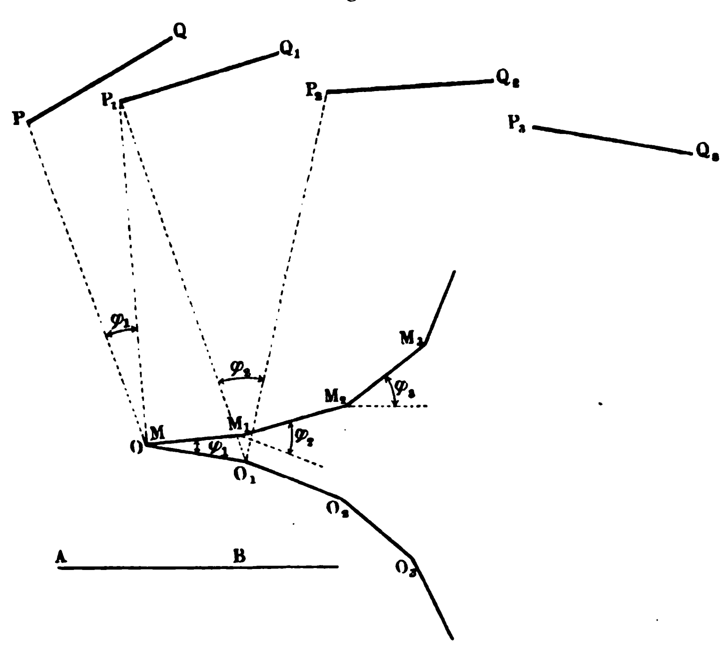


einen in die andere Lage immer durch Drehung um einen Punkt O der Ebene gebracht denken, welche man findet, wenn man auf den Mitten der Verbindungsgeraden PP_1 und QQ_1 Senkrechten errichtet und bis zu ihrem Schnittpunkt verlängert. Letzterer ist der gesuchte Punkt O, weil die Dreiecke OPQ und OP_1Q_1 als seitengleich kongruent sind. Der Punkt O heisst der zeitweilige Drehpunkt oder Pol für den gegebenen Lagenwechsel.

Sucht man für einen zweiten und einen dritten Lagenwechsel — von $P_1 Q_1$ nach $P_2 Q_2$, nach $P_3 Q_3$ u. s. w. — nach demsel-

ben Verfahren den zeitweiligen Pol auf, so erhält man eine Reihe von Polen $O\, O_1\, O_2\, O_3$ u. s. w., welche man durch Geraden der Reihe nach verbinden kann. Es entsteht dann ein ebenes Polygon $O_1\, O_2\, O_3$ .... Fig 18, dessen Ecken die Pole sind. Wir wollen es Pol-

Fig. 18.



vieleck nennen. Wenn die Figur $P\,Q$ nach einer Reihe von Lagenwechseln in die erste Lage zurückkehrt, so ist das Polvieleck geschlossen, wenn nicht, so bleibt es offen; die Figur vollzieht aber in jedem Falle eine Reihe von Drehungen um die Pole; ihre Punkte legen also lauter Kreisbogen zurück, welche völlig bestimmt sind, wenn wir noch die Winkel angeben, um welche jede der einzelnen Drehungen stattfand. Wir haben deshalb diese Winkel noch in übersichtlicher Weise aufzutragen.

Die Drehung um den Pol O geschah durch den Winkel $P\,O\,P_1 = \varphi_1$. Um sie bequemer überschauen zu können, verbinden wir fest mit $P\,Q$ die Gerade MM_1, indem wir M mit O zusammenfallen lassen, und $\angle\, O_1\, O\, M = \varphi_1$, und ausserdem noch $MM_1 = OO_1$, machen. Dann wird während der ersten Drehung die Gerade MM_1, sich um O drehend, in die Lage $O\,O_1$ übergehen, und somit die

Bewegung von PQ geradezu ersetzen können, da sie mit dieser Figur fest verbunden ist. Wiederholen wir das eingeschlagene Verfahren für die Drehung um O_1, indem wir an MM_1 die Gerade $M_1 M_2 = O_1 O_2$ so ansetzen, dass sie mit der $O_1 O_2$, wenn M_1 nach O_1 fällt, den zweiten Drehungswinkel φ_2 einschliesst, so kann $M_1 M_2$, oder vielmehr die Figur $M M_1 M_2$, abermals die Figur PQ ersetzen. So fortfahrend erhalten wir ein zweites Polygon $M M_1 M_2 M_3$ .., dessen aufeinanderfolgende Drehungen seiner Ecken um die entsprechenden Ecken des ersten Polygons die gegebenen Ortswechsel von PQ gegen die feste Ebene oder gegen eine darin gelegene feste Figur AB angeben.

Betrachten wir die beiden gefundenen Polvielecke gemeinschaftlich, so bemerken wir eine besondere und wichtige Eigenthümlichkeit, nämlich die, dass sie gegenseitig ganz dieselben Eigenschaften haben, oder reziprok sind, indem in den einzelnen Stellungen, wo zwei zusammengehörige Polygonseiten zusammenfallen, die Vielecke sowohl die Lage der als beweglich eingeführten Figur gegen die ruhende, als auch umgekehrt die der ruhenden gegen die bewegliche angeben. (Satz III. des vor. §.) Es geben mithin die beiden Polvielecke so viele relative Lagen der beiden Figuren an, als sie zusammengehörige Seiten zählen.

§. 7.

Polbahnen; cylindrische Rollung.

Das vorbeschriebene Verfahren hat uns ein Mittel geliefert, eine Folge gegebener diskreter Lagen zweier beweglicher Figuren übersichtlich darzustellen. Dasselbe lässt die Lagenwechsel selbst unerörtert oder vielmehr unterschiebt ihnen Drehungen um einzelne Mittelpunkte. Denkt man sich aber die als bekannt angenommenen Lagen PQ, $P_1 Q_1$, $P_2 Q_2$ u. s. w. immer näher zusammengerückt, bis sie schliesslich unendlich benachbart werden, so muss die Darstellung in die des ganzen Vorgangs übergehen. Bei dieser Aneinanderrückung nähern sich auch in den beiden Polvielecken die Ecken, bis sie nur unendlich wenig von einander entfernt sind, und es gehen dabei die Polvielecke im allgemeinen in Kurven über, deren gleichlange unendlich kleine Stücke nach unendlich kleinen Drehungen um ihre Endpunkte zusammen-

fallen, welche also während der stetig fortschreitenden relativen Lagenänderung der beiden Figuren aufeinander wälzen oder rollen. Jeder Punkt der gegenseitigen Drehung dient dann hierfür nicht wie oben zeitweilig, sondern im allgemeinen nur einen Augenblick, und heisst deshalb augenblicklicher Drehpunkt. Die Kurven, in welche die Polvielecke übergegangen sind, werden von dem augenblicklichen Drehpunkt oder Pol Punkt für Punkt beide durchwandert. Wir bezeichnen sie deshalb passend als die Polbahnen der bewegten Figuren. Kennt man dieselben für ein gegebenes Figurenpaar, so sind dessen relative Bewegungen auch für unendlich benachbarte Lagen, also der Ortsveränderung nach vollständig bekannt, und zwar sind sie durch Wälzung der Polbahnen aufeinander bestimmbar.

Die Relativbewegungen ebener Figuren sind, wie aus dem Gefundenen sofort einleuchtet, im allgemeinen nicht gleich, da sich keine Bedingung gezeigt hat, welche die Kongruenz der Polbahnen zur Folge gehabt hätte; sie werden aber gleich, sobald die Polbahnen kongruent ausfallen.

1. Beispiel. Die Cykloidenprobleme sind Beispiele der Relativbewegung ebener Figuren, bei welchen man die Polbahnen als gegeben annimmt. Wenn ein Kreiscylinder über eine Ebene wälzt, so sind die Normalschnitte der beiden Figuren solche, welche sich in gemeinschaftlicher Ebene bewegen; der Kreis PQ und die Gerade AB, welche man erhält, sind, da sie aufeinander wälzen, zugleich selbst die Polbahnen der beiden Figuren und der etwa mit ihnen verbundenen Figurentheile. Alle Punkte von PQ beschreiben gegen AB Cykloiden, und zwar gemeine, verlängerte oder verkürzte, je nachdem sie auf, ausserhalb oder innerhalb des Kreises liegen; alle Punkte aber, welche mit der Geraden AB fest verbunden sind, beschreiben gegen PQ Evolventen, und zwar gemeine, verlängerte oder verkürzte, je nachdem sie auf, unter oder über der Geraden liegen.

2. Beispiel. Zwei gleichgrosse Kreise, welche aufeinander wälzen, haben gleiche Relativbewegungen; die Punkte beider beschreiben bei gleichem Radius gleiche Epicykloiden.

Da unsere Untersuchung allgemein für die Relativbewegungen ebener Figuren in gemeinsamer Ebene, oder, wie wir uns für die Folge kürzer ausdrücken wollen, komplaner Figuren galt, so können wir aus dem Erhaltenen folgenden Schluss ziehen: Alle Relativbewegungen komplaner Figuren können als Wälzungsbewegungen aufgefasst werden, und sind den Bahnen der Punkte nach bestimmbar, sobald man die zugehörigen Polbahnen kennt.

Werden durch die betrachteten Figuren $P\,Q$ und $A\,B$ Körper gelegt und mit ihnen fest verbunden, so bewegen sich alle Paare ebener Schnitte derselben, welche der bisherigen Bewegungsebene parallel liegen, ebenso wie das erste Figurenpaar, haben also auch mit jenen übereinstimmende Polbahnenpaare. Die hintereinander liegenden, und sich stetig aneinander anschliessenden Polbahnen schliessen dabei zwei allgemeine Cylinder ein, welche immer mit einer Kante zusammenfallen und aufeinander wälzen oder rollen. Diejenige Erzeugende, in welcher die Cylinder in irgend einem Augenblicke einander berühren, ist dann Drehachse, und zwar heisst sie augenblickliche Drehachse oder auch Momentanachse der Bewegung. Die Bewegung selbst heisst im vorliegenden Falle eine cylindrische Rollung. Auf diese körperliche Relativbewegung können wir nun den oben für ebene Figuren gefundenen Satz ausdehnen. Kennzeichen der sämmtlichen gegenseitigen Lagen cylindrisch rollender Körper ist, dass die normal zur augenblicklichen Drehachse geführten Schnitte Figuren liefern, welche bei der Bewegung stets komplan sind. Wir können deshalb sagen: Alle Relativbewegungen zweier sich komplan bewegenden Körper können als cylindrische Rollungen angesehen werden und sind den Bahnen der Punkte nach bestimmt, sobald man die zugehörigen Momentanachsencylinder kennt.

§. 8.

Aufsuchung der Polbahnen.

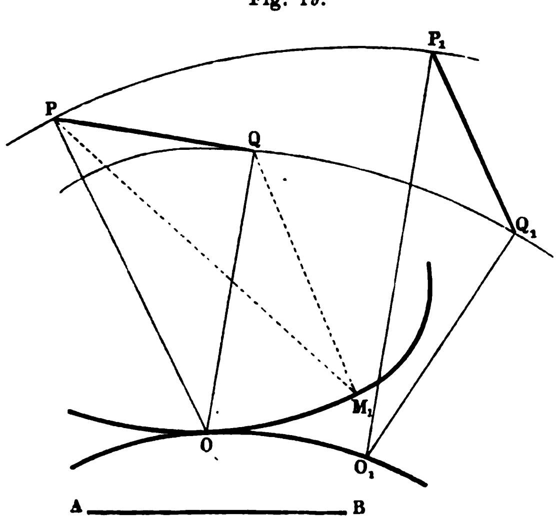
Bei dem vorhin vollzogenen Uebergang auf stetige Bewegung werden die Senkrechten, welche wir auf den Verbindungsgeraden der aufeinanderfolgenden Punktlagen P und P_1, Q und Q_1 errichtet hatten, Normalen zu den Kurvenelementen, in welchen sich die Punkte P und Q in jedem betrachteten Augenblicke fortbewegen. Soll daher die Polbahn für die Bewegung einer Figur $P\,Q$ gegen eine andere $A\,B$ bestimmt werden können, so muss für jede Lage von PQ von wenigstens zwei Punkten die Bewegungsrichtung, d. i. die Lage der Tangente an die Bahn bekannt sein. Die auf den Kurvenelementen errichteten Normalen schneiden einander nur in einem Punkte. Daraus folgt, dass für jede

Relativbewegung komplaner Figuren nur **ein** Polbahnenpaar möglich ist.

Die Aufsuchung der Polbahnen kann auf singularem Wege durch punktweises Aufsuchen geschehen, oder auch durch allgemeine Betrachtung, welche über das Kurvengeschlecht, dem die Polbahnen angehören, sofort Aufschluss gibt. Wir betrachten in Kürze beide Aufsuchungsarten.

Die Abhängigkeit der gegenseitigen Bewegung zweier komplanen Figuren PQ und AB sei bekannt. Um die zugehörigen Polbahnen zu bestimmen, verwandeln wir zuerst die gegebene Relativbewegung dadurch in eine für uns absolute, dass wir dem ganzen System eine solche gemeinschaftliche Bewegung ertheilen, dass für uns die eine der Figuren, z. B. AB, Fig. 19, zur Ruhe

Fig. 19.

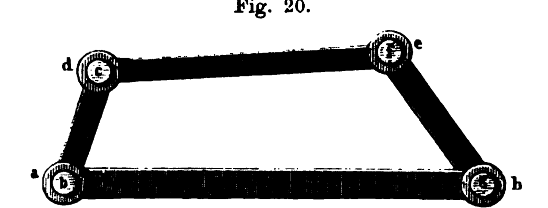


kommt. Dann bestimmen wir die Bahnen (Kurven), in welchen zwei Punkte P und Q sich bewegen, und ziehen Normalen zu den Bahnelementen in P und Q; der Schnittpunkt O derselben liefert dann einen Punkt O der zu AB gehörigen Polbahn. Ein anderes Normalenpaar, bei P_1 und Q_1 errichtet, liefert einen anderen Punkt O_1 derselben Polbahn, u. s. w. Behufs Aufsuchung der zweiten Polbahn MM_1 . . . können wir ganz ähnlich verfahren, indem wir nun PQ zur Ruhe bringen, AB also in Bewegung kommen lassen, und wie vorhin verfahren. Kürzer kommt man indessen meist bei

folgender Betrachtung zum Ziel. Da bei der Lage $P_1 Q_1$ der Pol O_1, welcher den beiden Polbahnen dann ja gemeinschaftlich angehört, um $P_1 O_1$ von der Lage P_1 des Punktes P, und um $Q_1 O_1$ von der Lage Q_1 des Punktes Q absteht, so braucht man nur mit $P_1 O_1$ und $Q_1 O_1$ aus P und Q Kreise zu beschreiben, um in einem von deren Schnittpunkten (unter Beachtung der Winkel bei P_1 und Q_1) den Punkt M_1 der zweiten Polbahn zu finden.

1. Beispiel. Für die in §. 3. besprochene kinematische Kette (Fig. 20) seien die Polbahnen zu bestimmen; die Kette liefert ihrer Zusammensetzung nach nur komplane Bewegungen, und eignet sich deshalb hier als

Fig. 20.



Beispiel. Da jedes Glied gegen die drei übrigen beweglich ist, kommen im Ganzen sechs Polbahnenpaare hier vor, vier zwischen benachbarten, und zwei zwischen gegenüberliegenden Gliedern. Die vier ersten sind sehr einfach, indem sie auf Punkte zusammenschrumpfen; die beiden anderen dagegen bieten sich nicht sofort dar. Wir wollen hier das zwischen den Gliedern a —— h und d —— e bestehende Polbahnenpaar aufsuchen. Zu dem Ende bringen wir zunächst durch Verbindung mit einem festen Gestell, etwa wie es Fig. 21 andeutet, das Glied a —— h zur Ruhe. Dann dreht sich a —— d in Kreisen um a, während e —— h in Kreisbogen um h hin- und herschwingt. Die Mittelpunkte der Elemente bei c und f beschreiben also Bahnen, für welche die Normalen stets Radien aus den Mittelpunkten bei a und h sind. Durch Verlängerung dieser Radien bis zu ihrem Durchschnittspunkte erhalten wir mithin jedesmal einen Punkt der Polbahn, welche dem festgestellten Gliede a —— h angehört. Die so entstehende Polbahn ist in Fig. 22 (s. S. 72) dargestellt. O oder M ist der Pol für die Anfangsstellung

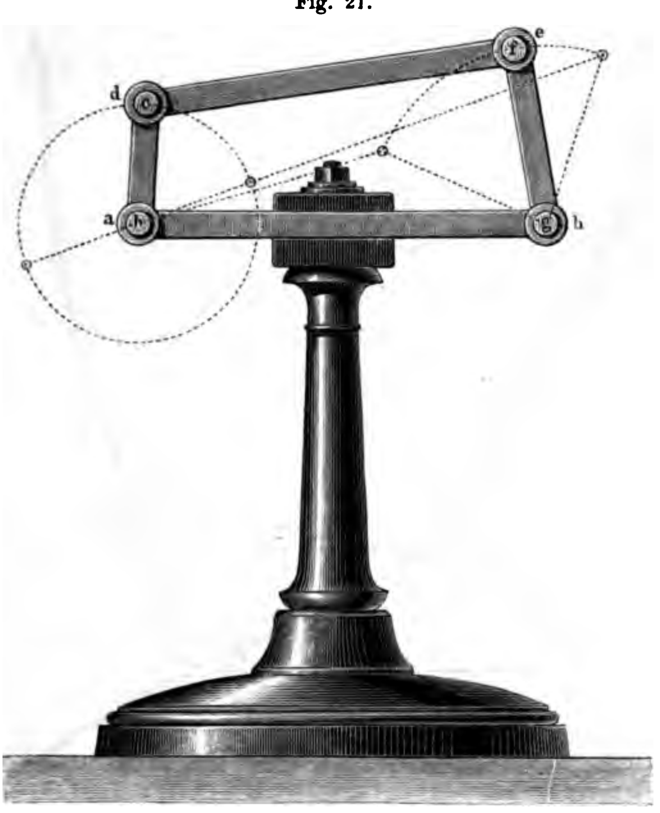
a —— d —— e —— h,

erhalten durch Verlängerung von a —— d und h —— e bis zum Schnitte. Die entstehende Figur $O O_1 O_2 \dots O_5$ wird nicht einfach von Gestalt. Sie erhält vier unendlich ferne Punkte, entsprechend den zwei parallelen Lagen von a —— d und h —— e. Die zweite Polbahn, dem Gliede d —— e angehörig, auf die oben angedeutete Weise durch Zurücktragung gefunden, ist in $M M_1 M_2 \dots M_5$ dargestellt; auch sie erhält (nothwendig) vier unendlich ferne Punkte. Die beiden Polbahnen, welche in der Zeichnung einander in OM berühren, wälzen bei der Bewegung des Getriebes auf einander, und zwar so, dass $O O_1 O_2 \dots O_5$ feststeht, und liefern

alle Elemente zur Untersuchung der komplizirten Bewegung, welche das Glied d —— e vollzieht. An Uebersichtlichkeit lässt die sich hier ergebende phoronomische Darstellung zu wünschen übrig. Namentlich beein-



Fig. 21.



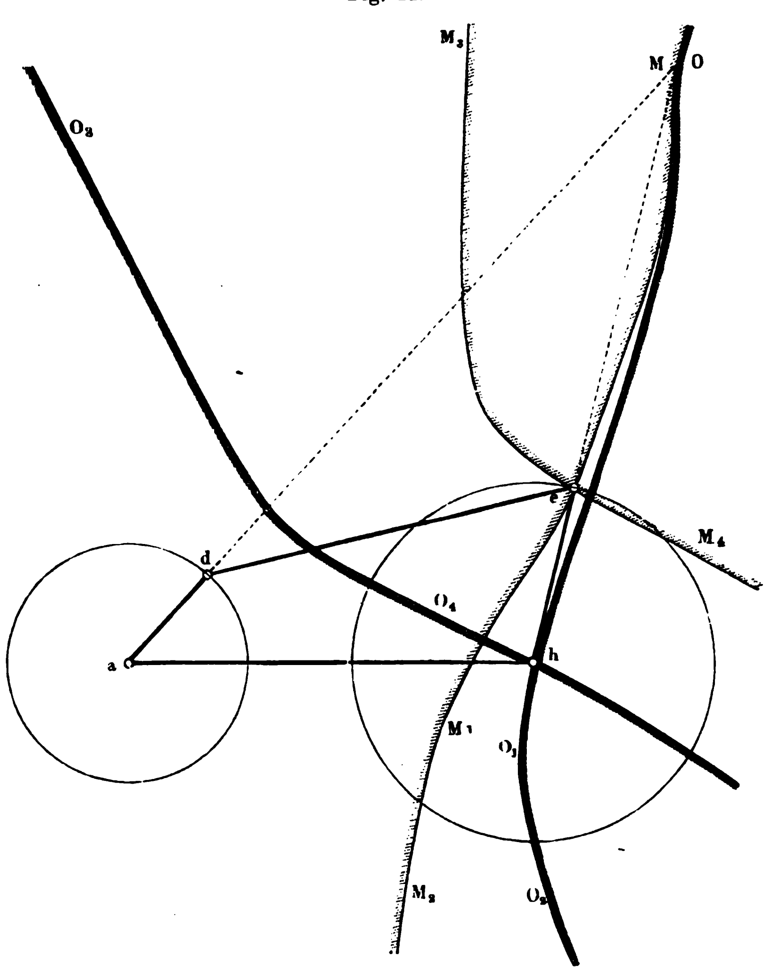
trächtigen die unendlich fernen Punkte nicht wenig die Anschaulichkeit. Doch kommt es hier zunächst nicht darauf an, ob die Lösung leicht oder schwer zu übersehen ist; vor allem ist sie eine wirkliche und vollständige Lösung der Aufgabe. Auf welche Weise man selbst bei sehr verwickelten Fällen manchmal zu sehr anschaulichen Vereinfachungen gelangen kann, wird weiter unten gezeigt werden.

2. Beispiel. Für die Auffindung von Polbahnen durch allgemeine Betrachtung liefern uns ein sehr einfaches Beispiel die Stirnräder, oder allgemeiner zwei Körper, welche sich um parallele Achsen von festem Abstand mit unveränderlichem Geschwindigkeitsverhältniss drehen. Sind a und b, Fig. 23 (s. S. 73), zwei komplane Schnitte der Körper, und c und d die beiden Drehpunkte, so wird sich, wenn wir zunächst a fest-

gestellt denken, der Punkt d um c im Kreise drehen müssen, da c d unveränderlich ist. Zugleich aber dreht sich b in demselben Moment um den noch unbekannten Pol. Da aber die Normale zu der Bahn von d mit der



Fig. 22.

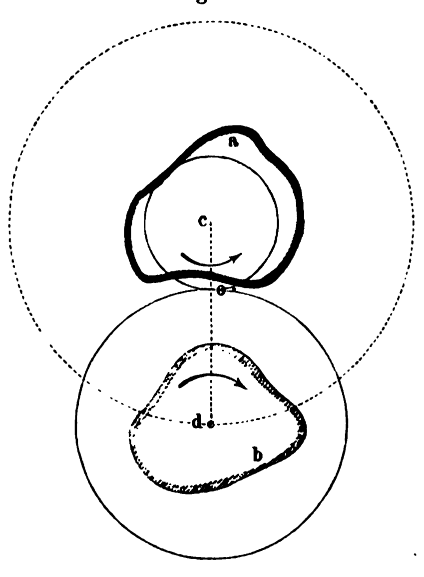


Zentrale zusammenfällt, muss auch auf dieser (oder ihrer Verlängerung) der Pol liegen. Nehmen wir vorläufig an, O sei dieser Pol, und halten nun die Zentrale c d fest, worauf a und b wieder ihre Drehbewegungen annehmen, so rollen in O die beiden Polbahnen — beide beweglich — aufeinander, und haben deshalb dort gleiche Umfangsgeschwindigkeiten. Ihre Winkelgeschwindigkeiten haben aber dann das Verhältniss d O : c O zu einander. Der Voraussetzung nach ist aber dieses Verhältniss ***konstant;***

demnach sind also auch d O und c O selbst konstant, mithin die Polbahnen Kreise aus c und d, beschrieben mit Radien, welche im umgekehrten Verhältniss der Winkelgeschwindigkeiten der Körper stehen. Die



Fig. 23.



Theilkreise der Stirnräder sind hiernach nichts anderes als die Polbahnen ihrer Normalschnitte. Wir treffen demnach hier auf einen Fall, in welchem die Polbahnen von besonderer Einfachheit sind, und überdies im Maschinenbau die ausgedehnteste praktische Anwendung finden.

§. 9.

Reduktion der Polbahnen.

Das Polbahnenpaar, welches wir oben beim ersten Beispiel fanden, enthält die vollständige Darstellung der Relativbewegung zwischen den Gliedern *d* —— *e* und *a* —— *h* der besprochenen kinematischen Kette, und muss deshalb auch dienen können, wenn die Kette anders als oben aufgestellt, also auf andere Weise als oben zum Getriebe gemacht wird. Man kann aber aus jener Kette noch ein bemerkenswerthes Getriebe herstellen, dadurch nämlich, dass man das Glied *b* —— *c* feststellt; es ist dies die erste der vier auf Seite 50 angedeuteten Feststellungsarten. Man erhält

dann, wie die folgende Figur darstellt, ein Getriebe, bei welchem die Glieder *a* —— *h* und *d* —— *e* beide Kreise beschreiben, und

Fig. 24.



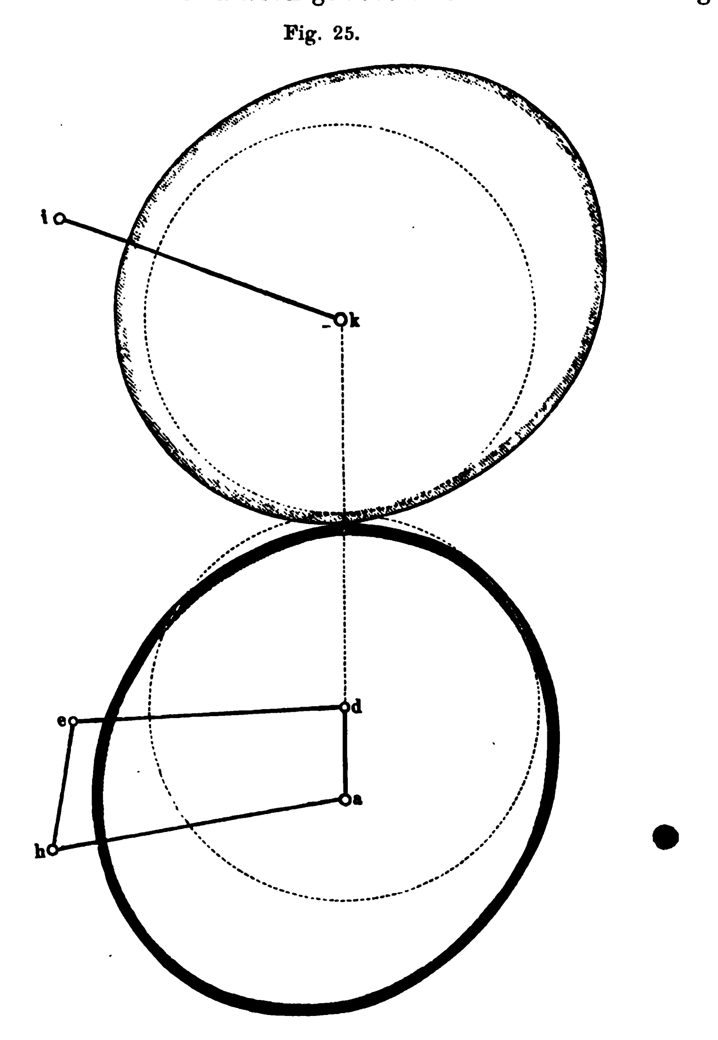
einander durch Vermittlung des Gliedes *f* —— *g* herumführen. Das Getriebe ist die sogenannte Kniekupplung. Die Arme oder Kurbeln *d* —— *e* und *a* —— *h* drehen sich mit einem schwankenden Winkelgeschwindigkeitsverhältniss, welches aus den zusammen-

gehörigen Fahrstrahlen der Polbahnen für jede einzelne Stellung ermittelbar ist. Denken wir uns nämlich die oben bei Fig. 22 gefundenen Polbahnen den zugehörigen Armen angefügt, so sehen wir, dass sich beide dann um feste Punkte, *a* und *d*, drehen und dabei aufeinander wälzen, gerade wie die Theilrisse zusammengehöriger sogenannter unrunder Zahnräder [10]). Indessen wird das Ganze wegen der eigenthümlichen Gestalten der beiden Polbahnen schwer übersichtlich, und es bleibt erwünscht, eine anschaulichere Darstellung des Vorganges zu erhalten, namentlich soweit es die Geschwindigkeitsverhältnisse der beiden Arme betrifft. Um hierzu zu gelangen, denken wir uns mit dem einen der beiden Arme, z. B. *d* —— *e*, ein cylindrisches Stirnrad verbunden, welches in ein kongruentes, auf einer dritten Achse, *k*, sitzendes eingreift. Dann wird letztere sich vermöge des eingeschalteten Zahnräderpaares genau so schnell drehen, wie der Arm *d* —— *e*, aber dabei in entgegengesetztem Sinne umlaufen. Stellen wir uns nun vor, dass zwischen einem Arme *ik* auf der Achse *k* und dem ersten Arme *a* —— *h* Polbahnen aufgesucht würden, so können diese offenbar, soweit es das Drehungsverhältniss zwischen *a* —— *h* und *d* —— *e* angeht, das vorige, so schwer übersichtliche Polbahnenpaar vertreten. Wir führen so gleichsam die ersten beiden Polbahnen auf zwei neue zurück. Fig. 25 (a. f. S.) stellt die zurückgeführten oder reduzirten Polbahnen für unseren Fall dar. Stellt man sich dieselben als Umfänge aufeinander wälzender Scheiben oder als die Theilrisse unrunder Zahnränder vor, so geben sie sofort eine deutlich überschaubare Vorstellung von der Mittheilung der Drehbewegung zwischen *a* —— *h* und *d* —— *e*. Auf die Verzeichnungsweise solcher reduzirter Polbahnen kommen wir später zurück. Für jetzt genüge die Bemerkung, dass hier die Summe der Fahrstrahlen zusammentreffender Umfangselemente konstant, nämlich = *ak* ist, während oben bei den ursprünglichen Polbahnen, Fig. 22, die Differenz dieser Fahrstrahlen konstant, und zwar = *ad* war. Wie man sieht, sind die unendlich fernen Punkte weggefallen, überhaupt ist die ganze Darstellung sehr einfach geworden und lässt sich mannigfach verwerthen.

Die unendlich fernen Punkte der Polbahnen können unter Umständen noch störender werden, als oben, wo sie immerhin vermöge der Asymptoten noch einigermaassen brauchbar bleiben. Macht man aber z. B in dem obigen Getriebe die gegenüberliegenden Glieder von gleicher Länge, siehe Fig. 26, so bilden die

Mittellinien der vier Arme ein Parallelogramm; ihre Verlängerungen schneiden sich deshalb immer in unendlicher Ferne, so dass beide Polbahnen unendlich grosse sich der Verzeichnung

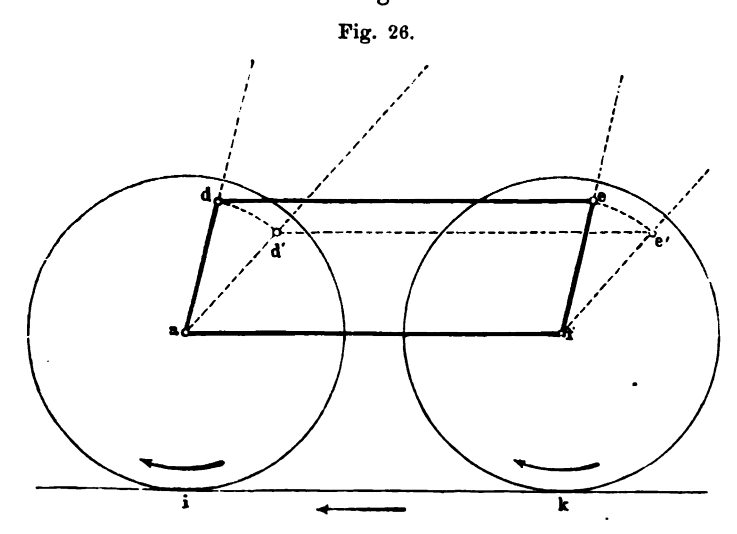
Fig. 25.



völlig entziehende Kurven werden. Die vorhin angewandte Reduktionsmethode würde zwei gleich grosse einander berührende Kreise liefern. Wir können aber hier eine noch deutlichere Darstellung erzielen. Zu dem Ende beschreiben wir aus den Mittelpunkten bei *a* und *f* gleich grosse Kreise *i* und *k* um diese Punkte,

mit Radien, welche kleiner als die Hälfte von a —— f sind, und legen an dieselben eine ausserhalb berührende Gerade $i\,k$. Lassen wir nun die Gerade ohne Gleitung auf den beiden Kreisen rollen,

Fig. 26.



während diese sich um die Mittelpunkte a und f drehen, so bewegen sich die Kreise i und k gerade so, wie die Verbindung der Arme im Parallelogramm es mit sich bringt, nämlich mit dem unveränderlichen Winkelgeschwindigkeitsverhältniss = 1 in demselben Drehungssinne. Die drei Polbahnen, auf welche wir hier die unendlich gross ausfallenden ursprünglichen reduzirt haben, drücken also das darzustellende Bewegungsgesetz vollständig aus. Ja noch mehr, wir können sie gleichzeitig mit den ursprünglichen ausgeführt und angebracht denken. Sie sekundiren dann gleichsam die eintretende Bewegung, weshalb wir sie sekundäre Polbahnen nennen können. Im vorliegenden Falle sind dieselben nicht ein Paar, sondern eine Terne von zusammengehörigen Figuren, was bemerkenswerth ist. Denn wir wissen aus dem Obigen (§. 8), dass sich für jede Relativbewegung komplaner Figuren nur ein Polbahnenpaar ergibt. Dass sich also für eine sekundäre Darstellung einer solchen Bewegung mehr als zwei gegenseitig rollende Figuren ergeben, ist nicht auf einzelne Fälle beschränkt, sondern allgemein.

Derartige sekundäre Polbahnen können uns auch in solchen Fällen Dienste leisten, wo die ursprünglichen wohl darstellbar

und selbst leicht darstellbar, vielleicht aber zu gross im Maassstab ausfallen, z. B. für Körperpaare, welche sich mit konstantem aber nicht der Einheit gleichem Winkelgeschwindigkeitsverhältniss in gleichem Sinne umdrehen. Solche würden als Polbahnen Kreise erhalten, von denen der eine auf seiner Hohlseite berührt würde. Die sekundären Polbahnen der obigen Gattung werden hier Kreise, deren Durchmesser sich wie die der ursprünglichen verhalten, womit die Lage der Tangente *i k* sofort bestimmbar ist, siehe Fig 27. Ja selbst auch bei gegensinnigen Drehungen von konstantem Verhältniss eignen sich diese sekundären Polbahnen, siehe Fig. 28.

Fig. 27.

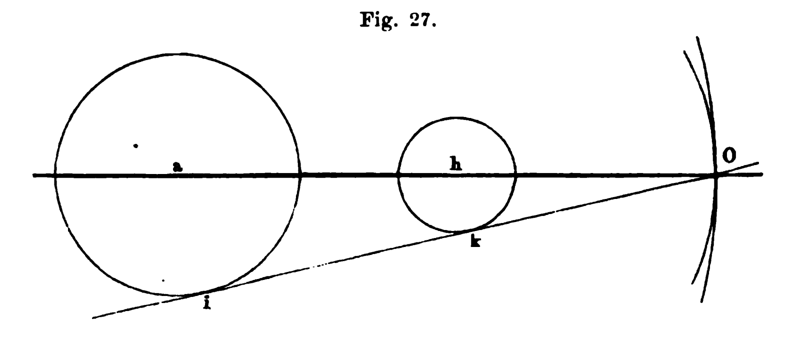
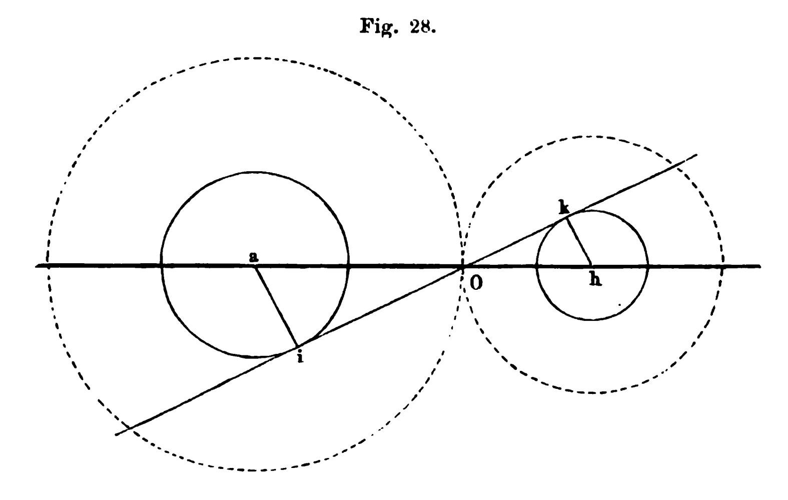


Fig. 28.



Die Tangente *i k* tritt hier nur in innere Berührung mit den sekundären Polkreisen. Bei den Methoden zur Ermittelung der Zahnprofile der Zahnräder spielen diese sekundären Polbahnen [11])

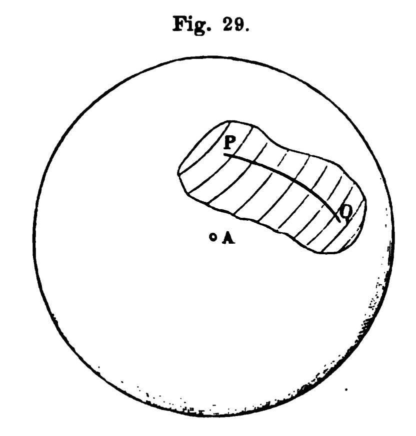
stellenweise eine wichtige und anerkannte Rolle; wir finden sie also bereits in die Methoden der Maschinenpraxis eingedrungen, oder haben umgekehrt ein vielfach benutztes Verfahren auf allgemeine phoronomische Prinzipien zurückführen können.

§. 10.

Drehung um einen Punkt.

Nachdem wir uns im Vorstehenden über die allgemeine Darstellungsweise der Relativbewegung in der Ebene Klarheit verschafft haben, gehen wir jetzt zu dem schwierigeren Problem der Relativbewegung im Raume über, wollen aber zuvörderst die eine Einschränkung noch beibehalten, dass ein Punkt des zu betrachtenden körperlichen Gebildes seinen Ort im Raume für uns nicht ändere. Wenn ein Körper sich so bewegt, dass jeder seiner Punkte einzeln von einem festen Punkte immer dieselbe Entfernung hat, so sagen wir von ihm, er drehe sich um diesen Punkt. Um die hierbei stattfindenden Bewegungserscheinungen als relative Bewegungen des Körpers gegen einen mit dem festen Punkt verbundenen ruhenden Körper kennen zu lernen, beschreiben wir aus dem festen Punkte A, Fig. 29, eine Kugel von einer solchen Grösse, dass dieselbe den beweglichen Körper schneidet. Kennen wir alsdann die Bewegung der so erhaltenen sphärischen Schnittfigur PQ auf der Kugel, so ist die Bewegung des Körpers offenbar bekannt. Die Bewegung der Figur PQ ist aber bestimmt, wenn man alle Lagen zweier ihrer Punkte P und Q, oder des sie verbindenden grössten Kreisbogens kennt. Denn von den Lagen dieser Bogenstrecke aus lassen sich die Lagen aller übrigen Punkte der sphärischen Figur als die Spitzen sphärischer Dreiecke aufsuchen, deren drei Seiten der

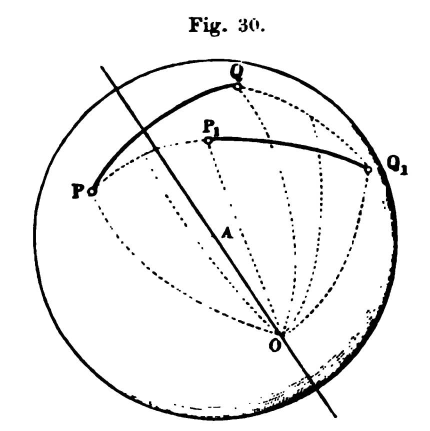
Fig. 29.



Grösse nach bekannt sind. und von deren Basis (PQ) man auch noch die Lage kennt. Auf die Untersuchung der sphärischen Bogenstrecke PQ hinsichtlich ihrer Bewegung reduzirt sich also die Relativbewegung eines Körpers um einen festen Punkt; auch können wir (entsprechend der oben gemachten Vereinfachung der Vorstellung für die ebene Bewegung) jede sphärische Figur durch eine in ihr gelegene Bogenstrecke ausdrücken.

Jede sphärische Figur PQ, Fig. 30, welche sich auf ihrer eigenen Kugelfläche bewegt, kann man aus einer ihrer Lagen, PQ, in eine andere, P_1Q_1, immer durch eine sphärische Drehung um einen Punkt O der Kugelfläche bringen, welchen man findet, wenn man auf den Mitten der Verbindungsbogen PP_1 und QQ_1 normal stehende grösste Kreisbogen errichtet und bis zum Schnitte verlängert. Der Schnittpunkt ist der gesuchte Punkt O, weil die sphärischen Dreiecke OPQ und OP_1Q_1 als seitengleich kongruent sind. Der Punkt O ist der zeitweilige Drehpunkt oder Pol für die vorgenommene sphärische Drehung. Die beiden normal errichteten grössten Kreisbogen schneiden einander aber zweimal, nämlich ausser in O auch noch in dem Gegenpunkt des zugehörigen Durchmessers, welcher durch den festen Punkt A hindurchgeht. Da aber der Voraussetzung nach die Figur PQ von dem festen Punkte A feste Abstände hat, so ändert der durch O, A und den Gegenpunkt gehende Durchmesser ebenfalls nicht seine Lage gegen die Figur, und ist somit zeitweilige Drehachse der betrachteten Bewegung.

Fig. 30.



Eine neue Drehung liefert einen zweiten Pol O_1, eine weitere einen dritten O_2 u. s. w., deren Verbindung durch grösste Kreise ein sphärisches Polvieleck liefert. Diesem entspricht ein zweites sphärisches Polvieleck, welches in fester Verbindung mit der beweglichen Figur steht. Legt man durch die Ecken und den festen Punkt Geraden, welche nichts anderes sind, als Kugeldurchmesser, so erhält man zwei Pyramiden, um deren Kanten die einzelnen diskreten Drehungen vor sich gehen.

§. 11.

Konische Rollung.

Wie man sieht, besitzt das eingeschlagene Verfahren die grösste Analogie mit dem für die ebene Bewegung angewandten. Fährt man in derselben Weise fort, wählt nämlich die Lagen von PQ unendlich benachbart, so gehen die Polvielecke in sphärische Polbahnen, die zeitweiligen Drehachsen in augenblickliche, die Pyramiden in allgemeine Kegel über, deren Spitzen in A zusammenfallen, und welche aufeinander rollen oder wälzen. Die Kegel sind die Momentanachsenkegel und die ganze Relativbewegung heisst eine Kegelrollung oder konische Rollung. Wir gelangen hiernach zu dem folgenden, die betrachteten Erscheinungen zusammenfassenden Satze: Alle Relativbewegungen zweier Körper, welche fortwährend einen Punkt gemeinsam haben, können als konische Rollungen aufgefasst werden, und sind den Bahnen der Punkte nach bestimmt, sobald man die zugehörigen Momentanachsenkegel kennt.

Es ist auch ferner sofort einleuchtend, dass die oben angestellten Betrachtungen über die Aufsuchung der Polbahnen und deren Reduktion sich auf die konische Rollung ohne weiteres übertragen lassen, weshalb wir diese Untersuchungen hier nicht zu erneuern brauchen.

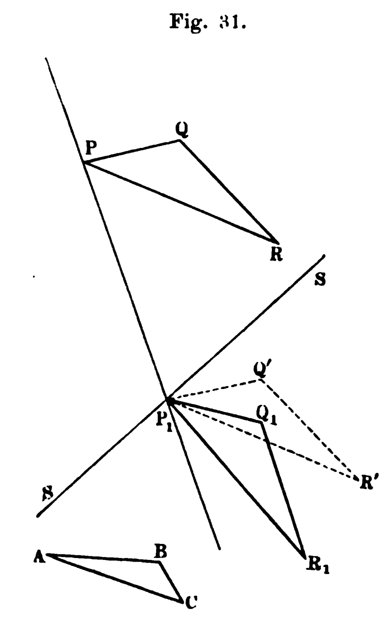
§. 12.

Allgemeinste Form der Relativbewegung fester Körper.

Kennt man die Orte dreier Punkte eines Körpers, so kann man von diesen aus den Ort jedes anderen Punktes des Körpers als die Spitze einer dreiseitigen Pyramide von bekannten Kantenlängen und gegebener Basislage bestimmen. Für die Relativbewegung zweier festen Körper können wir dieselben deshalb durch zwei in ihnen gelegene feste Dreiecke PQR und ABC ausdrücken. Bringen wir nun den Körper ABC zur Ruhe, so bewegt sich bloss PQR für uns, und möge aus der Lage PQR in die

Lage $P_1 Q_1 R_1$ gelangt sein, Fig 31. Diesen Lagenwechsel können wir auf vielerlei Art vollziehen. Legen wir z. B. durch P und P_1 eine Gerade, und verschieben PQR parallel derselben, bis P nach P_1 fällt, so haben wir der Figur PQR nur noch eine Drehung um eine durch P_1 gehende Achse SS, die sich jederzeit finden lässt, zu ertheilen, um die vorhin erzeugte Lage $P_1 Q' R'$ in die andere $P_1 Q_1 R_1$ zu verwandeln. Hiernach ist die allgemeinste Bewegung von PQR gegen ABC jedenfalls aus einer Parallelverschiebung und einer einfachen Achsendrehung zusammensetzbar, und zwar auf unendlich viele Arten. Die Schiebungsrichtung braucht dabei keineswegs mit der Verbindungslinie zweier Punktlagen parallel zu sein. Unter diesen unendlich vielen möglichen Arten befindet sich aber eine von besonderer Einfachheit, diejenige nämlich, in welcher die Schiebungsrichtung mit der Achse der Drehung parallel ist. Bei dieser aber läuft die Bewegung auf eine Drehung um eine Achse und die Entlanggleitung an derselben hinaus. Sind die Ortsveränderungen von PQR gegen ABC unendlich klein, so folgen die augenblicklichen Drehachsen, an welchen entlang auch gleichzeitig Gleitung stattfindet, unendlich nahe aufeinander.

Fig. 31.



§. 13.

Schrotung und Rollung von Regelflächen.

Man hat sich die soeben beschriebene Bewegungsform auf mehrerlei Weise zu versinnlichen gesucht, was in der That nicht ganz leicht ist. Poinsot schlägt vor, sich den ruhenden (oder ruhend gemachten) Körper als eine Schraube, den beweglichen Körper als eine Schraubenmutter vorzustellen, in welchem Falle

die Verschiebung der Schraubenachse entlang, die Drehung um diese herum — wie oben gefordert — stattfindet. Da aber die Bewegung mit veränderlicher Geschwindigkeit, sowohl was Schiebung, als was Drehung betrifft, vor sich geht, soll man sich die Schraube und ihre Mutter so vorstellen, als ob dieselben ihre Steigung nach jeder kleinen Fortschreitung änderten. Diese Vorstellung ist indess nicht klar zu fassen; ein so veränderliches Gebilde ist kein Körper mehr; man kommt bei der stärksten Anstrengung der Phantasie nicht dazu, eine Anschauung von so veränderlichen Wesen, wie diese Schraube und diese Schraubenmutter sein sollen, zu gewinnen, und reicht jedenfalls kaum weiter damit, als mit dem blossen Denken der Drehung und Schiebung im Raum.

Belanger macht zwei Vorschläge. Der erste ist: man solle sich ein Körperpaar mit Kegelrollung (wie oben §. 11) vorstellen, bei welchem die beiden Kegel gegen das ruhende Raumsystem eine Schiebungsbewegung besitzen. Die Achsendrehung wäre dann durch die Kegelrollung, die Schiebung durch die Translation des Körperpaares gegeben. Man könnte hiermit allenfalls den Vorgang veranschaulichen, hat aber dann die gesuchte Relativbewegung zweier Körper auf eine Dreiheit von Körpern reduzirt, was zwar in einzelnen Fällen zweckmässig, ja vielleicht unentbehrlich ist (vergl. oben §. 9), allein womöglich doch durch eine einfachere Vorstellung ersetzt werden sollte.

Der zweite Vorschlag Belanger's ist, die aufeinanderfolgenden Achsenlagen als eine Regelfläche an dem einen wie am andern Körper einhüllend anzusehen, worauf sich die Bewegung auf die Rollung zweier Regelflächenkörper unter jedesmaliger Gleitung der einander berührenden Kanten aneinander entlang zurückführt. Dieser Vorstellungsweise haben sich andere Neuere angeschlossen. In der That ist sie auch als unmittelbare Folgerung aus dem zu ziehen, was wir oben fanden, da die Aufeinanderfolge der gleichzeitigen Dreh- und Gleitachsen an jedem der beiden Körper solche Regelflächengebilde als Momentanachsenkörper einhüllt.

Die eigenthümliche Bewegung, bei welcher Gleitung und Drehung an einer Geraden entlang und um dieselbe herum stattfindet, kann man Schroten nennen. Auch wollen wir nun, da wir beim allgemeinsten Standpunkte angelangt sind, die gefundenen Körper, deren Aufeinanderbewegung der Ausdruck der Relativbewegungen ist, mit einem gemeinsamen Namen bezeichnen. Sie können, da sie stets eine Aufeinanderfolge von Achsen an sich

tragen, Axoide genannt werden. Hiernach lässt sich das Gefundene in folgenden Satz zusammenfassen: Alle Relativbewegungen zweier Körper können als Schrotungen oder Rollungen von Regelflächen oder Axoiden aufgefasst werden.

Aus diesem allgemeinen Lehrsatze müssen sich die weiter oben vereinzelt gefundenen durch entsprechende Verringerung und Vereinfachung der Bedingungen ergeben. In der That ist es nicht schwer, sich vorzustellen, wie eine Regelfläche in einen allgemeinen Kegel übergeht, oder ein allgemeiner Cylinder wird, wobei statt der Schrotbewegung beidemal bloss Rollbewegung auftritt. Dennoch darf man die Schlussfolgerung nicht dahin ausdehnen, dass man diesen beiden Fällen allein die reine Rollbewegung zuschreibt (wie meines Wissens bisher angenommen wurde). Die Bedingung für den Wegfall der Kantengleitung ist nicht die, dass entweder sämmtliche Kanten sich in einem Punkte schneiden, wie beim Kegel, oder parallel werden, wie beim Cylinder, sondern die höhere Bedingung, dass die beiden Regelflächen so gestaltet sind, dass ihre unendlich benachbarten Kantenfolgen an homologen Stellen Flächen von derselben Gestalt einschliessen, oder wie die Geometrie sich ausdrückt, aufeinander abwickelbar sind.

Ein Kegelmantel ist auf einem anderen Kegelmantel abwickelbar, ein Cylinder auf einem Cylinder, weil die Flächenstreifchen zwischen unendlich benachbarten Kanten an homologen Stellen gleiche Veränderungen eingehen. Deshalb können auch allgemeine Regelflächengebilde aufeinander rollen, sobald ihre Umflächen nur aufeinander abwickelbar sind. So z. B. können zwei Schraubenflächen aufeinander abwickelbar hergestellt werden und bei geeigneter Anordnung, Fig. 32, aufeinander rollen; ebenso eine Schraubenfläche und ein Hyperboloid, Fig. 33*). Ganz nahe verwandte Formen kommen thatsächlich im Maschinenbau zur Verwendung **); es liegt also sowohl im Interesse des Theoretikers als des Praktikers, wenn wir auf diese Konsequenzen eingehen.

Regelflächen, welche aufeinander schroten, verwendet der Maschinenbau ebenfalls; solche sind die Axoide der hyperboloidischen Zahnräder, welche Fig. 34 andeutet; unausgeführt bleiben

*) In der kinematischen Sammlung der Königl. Gew.-Akademie durch ein Modell erläutert.

**) Siehe z. B. Johnson's Imperial Cyclopaedia, Steam Engine, Moisons Regulator, S. 49.

diese Axoide, obgleich sie immerhin die Relativbewegung ausdrücken, bei den Schraubenrädern mit geschränkten Achsen.



Fig. 32. Fig. 33.

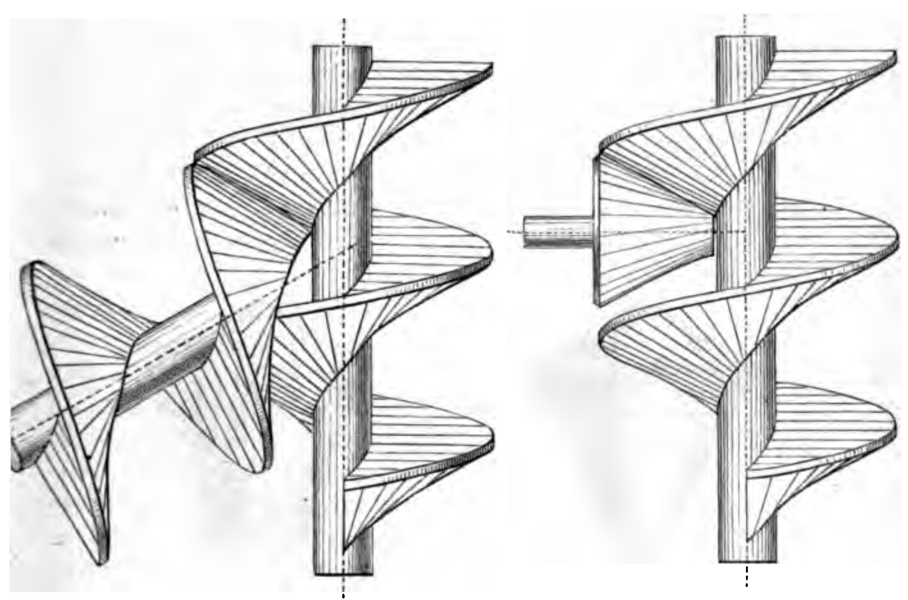
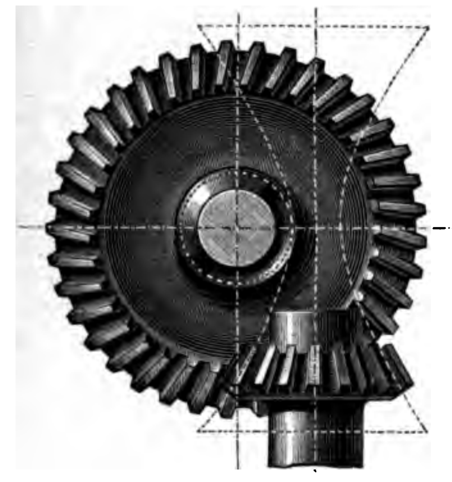


Fig. 34.

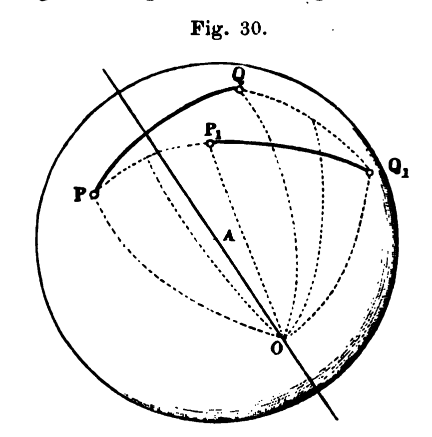


Es liegt ausser dem Bereich unserer gerade hier vorliegenden Aufgabe, die verschiedenen möglichen höheren Axoide in systematischer Ordnung zu besprechen. Nur ist noch die eine allgemeine Frage übrig geblieben, ob nicht die Regelflächen, gleichviel ob schrotend oder bloss rollend, noch eine karakteristische gemeinsame Eigenschaft haben, welche dann, da wir beim obersten Falle stehen, bis hinunter für sämmtliche

Grösse nach bekannt sind, und von deren Basis (PQ) man auch noch die Lage kennt. Auf die Untersuchung der sphärischen Bogenstrecke PQ hinsichtlich ihrer Bewegung reduzirt sich also die Relativbewegung eines Körpers um einen festen Punkt; auch können wir (entsprechend der oben gemachten Vereinfachung der Vorstellung für die ebene Bewegung) jede sphärische Figur durch eine in ihr gelegene Bogenstrecke ausdrücken.

Jede sphärische Figur PQ, Fig. 30, welche sich auf ihrer eigenen Kugelfläche bewegt, kann man aus einer ihrer Lagen, PQ, in eine andere, $P_1 Q_1$, immer durch eine sphärische Drehung um einen Punkt O der Kugelfläche bringen, welchen man findet, wenn man auf den Mitten der Verbindungsbogen PP_1 und QQ_1 normal stehende grösste Kreisbogen errichtet und bis zum Schnitte verlängert. Der Schnittpunkt ist der gesuchte Punkt O, weil die sphärischen Dreiecke OPQ und $OP_1 Q_1$ als seitengleich kongruent sind. Der Punkt O ist der zeitweilige Drehpunkt oder Pol für die vorgenommene sphärische Drehung. Die beiden normal errichteten grössten Kreisbogen schneiden einander aber zweimal, nämlich ausser in O auch noch in dem Gegenpunkt des zugehörigen Durchmessers, welcher durch den festen Punkt A hindurchgeht. Da aber der Voraussetzung nach die Figur PQ von dem festen Punkte A feste Abstände hat, so ändert der durch O, A und den Gegenpunkt gehende Durchmesser ebenfalls nicht seine Lage gegen die Figur, und ist somit zeitweilige Drehachse der betrachteten Bewegung.

Fig. 30.



Eine neue Drehung liefert einen zweiten Pol O_1, eine weitere einen dritten O_2 u. s. w., deren Verbindung durch grösste Kreise ein sphärisches Polvieleck liefert. Diesem entspricht ein zweites sphärisches Polvieleck, welches in fester Verbindung mit der beweglichen Figur steht. Legt man durch die Ecken und den festen Punkt Geraden, welche nichts anderes sind, als Kugeldurchmesser, so erhält man zwei Pyramiden, um deren Kanten die einzelnen diskreten Drehungen vor sich gehen.

§. 11.

Konische Rollung.

Wie man sieht, besitzt das eingeschlagene Verfahren die grösste Analogie mit dem für die ebene Bewegung angewandten. Fährt man in derselben Weise fort, wählt nämlich die Lagen von PQ unendlich benachbart, so gehen die Polvielecke in sphärische Polbahnen, die zeitweiligen Drehachsen in augenblickliche, die Pyramiden in allgemeine Kegel über, deren Spitzen in A zusammenfallen, und welche aufeinander rollen oder wälzen. Die Kegel sind die Momentanachsenkegel und die ganze Relativbewegung heisst eine Kegelrollung oder konische Rollung. Wir gelangen hiernach zu dem folgenden, die betrachteten Erscheinungen zusammenfassenden Satze: Alle Relativbewegungen zweier Körper, welche fortwährend einen Punkt gemeinsam haben, können als konische Rollungen aufgefasst werden, und sind den Bahnen der Punkte nach bestimmt, sobald man die zugehörigen Momentanachsenkegel kennt.

Es ist auch ferner sofort einleuchtend, dass die oben angestellten Betrachtungen über die Aufsuchung der Polbahnen und deren Reduktion sich auf die konische Rollung ohne weiteres übertragen lassen, weshalb wir diese Untersuchungen hier nicht zu erneuern brauchen.

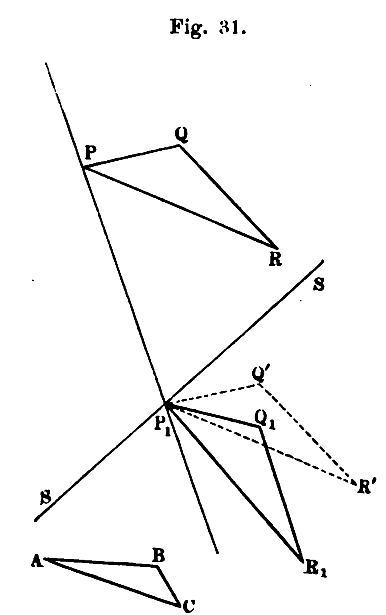
§. 12.

Allgemeinste Form der Relativbewegung fester Körper.

Kennt man die Orte dreier Punkte eines Körpers, so kann man von diesen aus den Ort jedes anderen Punktes des Körpers als die Spitze einer dreiseitigen Pyramide von bekannten Kantenlängen und gegebener Basislage bestimmen. Für die Relativbewegung zweier festen Körper können wir dieselben deshalb durch zwei in ihnen gelegene feste Dreiecke PQR und ABC ausdrücken. Bringen wir nun den Körper ABC zur Ruhe, so bewegt sich bloss PQR für uns, und möge aus der Lage PQR in die

Lage $P_1 Q_1 R_1$ gelangt sein, Fig 31. Diesen Lagenwechsel können wir auf vielerlei Art vollziehen. Legen wir z. B. durch P und P_1 eine Gerade, und verschieben PQR parallel derselben, bis P nach P_1 fällt, so haben wir der Figur PQR nur noch eine Drehung um eine durch P_1 gehende Achse SS, die sich jederzeit finden lässt, zu ertheilen, um die vorhin erzeugte Lage $P_1 Q' R'$ in die andere $P_1 Q_1 R_1$ zu verwandeln. Hiernach ist die allgemeinste Bewegung von PQR gegen ABC jedenfalls aus einer Parallelverschiebung und einer einfachen Achsendrehung zusammensetzbar, und zwar auf unendlich viele Arten. Die Schiebungsrichtung braucht dabei keineswegs mit der Verbindungslinie zweier Punktlagen parallel zu sein. Unter diesen unendlich vielen möglichen Arten befindet sich aber eine von besonderer Einfachheit, diejenige nämlich, in welcher die Schiebungsrichtung mit der Achse der Drehung parallel ist. Bei dieser aber läuft die Bewegung auf eine Drehung um eine Achse und die Entlanggleitung an derselben hinaus. Sind die Ortsveränderungen von PQR gegen ABC unendlich klein, so folgen die augenblicklichen Drehachsen, an welchen entlang auch gleichzeitig Gleitung stattfindet, unendlich nahe aufeinander.

Fig. 31.



§. 13.

Schrotung und Rollung von Regelflächen.

Man hat sich die soeben beschriebene Bewegungsform auf mehrerlei Weise zu versinnlichen gesucht, was in der That nicht ganz leicht ist. Poinsot schlägt vor, sich den ruhenden (oder ruhend gemachten) Körper als eine Schraube, den beweglichen Körper als eine Schraubenmutter vorzustellen, in welchem Falle

die Verschiebung der Schraubenachse entlang, die Drehung um diese herum — wie oben gefordert — stattfindet. Da aber die Bewegung mit veränderlicher Geschwindigkeit, sowohl was Schiebung, als was Drehung betrifft, vor sich geht, soll man sich die Schraube und ihre Mutter so vorstellen, als ob dieselben ihre Steigung nach jeder kleinen Fortschreitung änderten. Diese Vorstellung ist indess nicht klar zu fassen; ein so veränderliches Gebilde ist kein Körper mehr; man kommt bei der stärksten Anstrengung der Phantasie nicht dazu, eine Anschauung von so veränderlichen Wesen, wie diese Schraube und diese Schraubenmutter sein sollen, zu gewinnen, und reicht jedenfalls kaum weiter damit, als mit dem blossen Denken der Drehung und Schiebung im Raum.

Belanger macht zwei Vorschläge. Der erste ist: man solle sich ein Körperpaar mit Kegelrollung (wie oben §. 11) vorstellen, bei welchem die beiden Kegel gegen das ruhende Raumsystem eine Schiebungsbewegung besitzen. Die Achsendrehung wäre dann durch die Kegelrollung, die Schiebung durch die Translation des Körperpaares gegeben. Man könnte hiermit allenfalls den Vorgang veranschaulichen, hat aber dann die gesuchte Relativbewegung zweier Körper auf eine Dreiheit von Körpern reduzirt, was zwar in einzelnen Fällen zweckmässig, ja vielleicht unentbehrlich ist (vergl. oben §. 9), allein womöglich doch durch eine einfachere Vorstellung ersetzt werden sollte.

Der zweite Vorschlag Belanger's ist, die aufeinanderfolgenden Achsenlagen als eine Regelfläche an dem einen wie am andern Körper einhüllend anzusehen, worauf sich die Bewegung auf die Rollung zweier Regelflächenkörper unter jedesmaliger Gleitung der einander berührenden Kanten aneinander entlang zurückführt. Dieser Vorstellungsweise haben sich andere Neuere angeschlossen. In der That ist sie auch als unmittelbare Folgerung aus dem zu ziehen, was wir oben fanden, da die Aufeinanderfolge der gleichzeitigen Dreh- und Gleitachsen an jedem der beiden Körper solche Regelflächengebilde als Momentanachsenkörper einhüllt.

Die eigenthümliche Bewegung, bei welcher Gleitung und Drehung an einer Geraden entlang und um dieselbe herum stattfindet, kann man Schroten nennen. Auch wollen wir nun, da wir beim allgemeinsten Standpunkte angelangt sind, die gefundenen Körper, deren Aufeinanderbewegung der Ausdruck der Relativbewegungen ist, mit einem gemeinsamen Namen bezeichnen. Sie können, da sie stets eine Aufeinanderfolge von Achsen an sich

Einzelfälle gültig bliebe. Eine solche Eigenschaft lässt sich in der That noch angeben.

Errichtet man auf den Berührungskanten zweier zusammengehöriger Axoide an homologen Stellen Normalebenen, so hüllen diese an den Axoiden je eine Fläche ein, deren Elemente in der unmittelbaren Nähe der Berührungskanten auf diesen normal stehen. Diese Fläche führt bei dem Normalkegel den Namen Ergänzungskegel, siehe *HJ*, Fig. 35, beim Cylinder den Namen Endfläche; beim Rotationshyperboloid habe ich sie (die dort ein Kegel wird, *HJ*, Fig. 36) auch Ergänzungskegel genannt*); sie

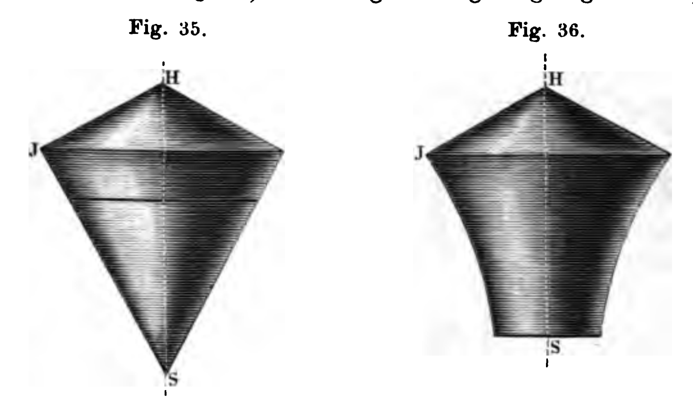


Fig. 35. Fig. 36.

kann allgemein die Ergänzungsfläche der Regelfläche heissen. Diese Ergänzungsfläche denken wir uns an jedem der beiden zusammengehörigen Axoide ausgeführt. Wir erhalten dann an jedem der Axoide eine Durchschnittlinie zwischen der Umfläche und der Ergänzungsfläche — beim Normalkegel, dem Cylinder, Drehungshyperboloid einen Kreis, bei der Schraubenfläche eine Schraubenlinie u. s. w. — und nennen diese Linie allgemein den Ergänzungskontur des Axóids. Denkt man sich nun die Ergänzungskonturen beider Axoide auf die senkrecht zur Berührungslinie errichtete Ebene normal projizirt, so erhält man zwei Figuren, welche bei der Wanderung des Poles mit immer neuen Umfangstheilen sich gegenseitig berühren, immer aber so, dass an der Berührungsstelle gleich grosse Umfangsstückchen gleichzeitig vorübergehen, mit anderen Worten, dass die gedachten Projektionen aufeinander rollen. Beispielsweise sind diese Projektio-

*) Siehe meinen „Konstrukteur", IIIte Aufl. S. 452.

diese Axoide, obgleich sie immerhin die Relativbewegung ausdrücken, bei den Schraubenrädern mit geschränkten Achsen.



Fig. 32. Fig. 33.

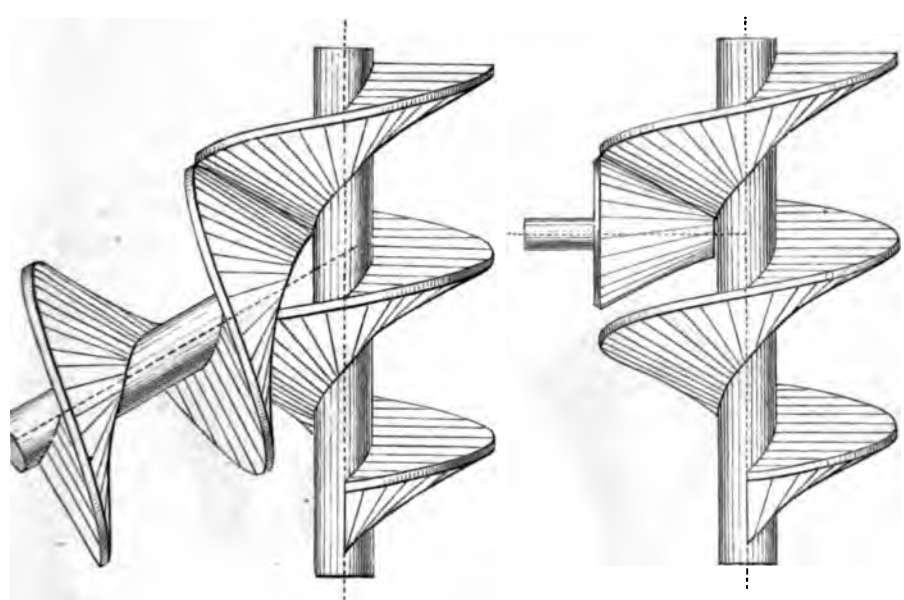
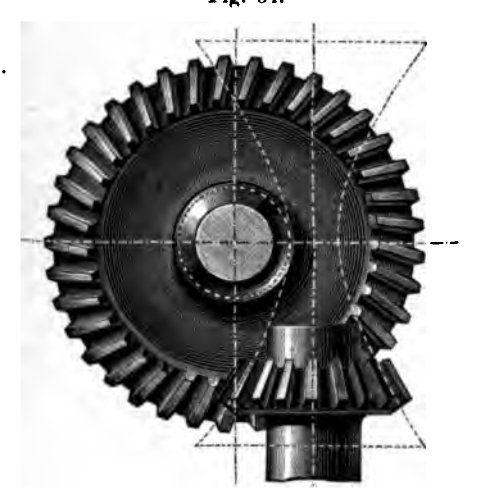


Fig. 34.

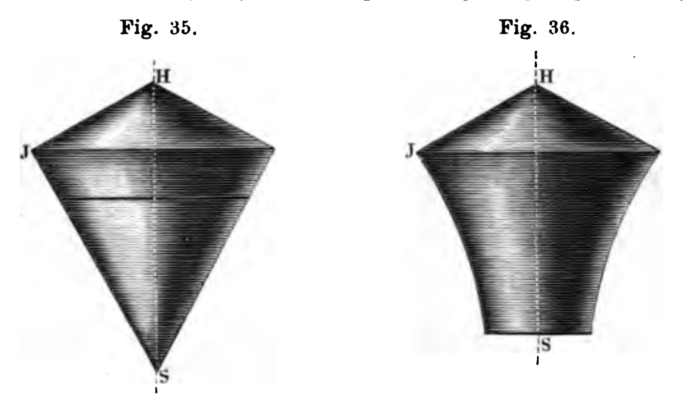


Es liegt ausser dem Bereich unserer gerade hier vorliegenden Aufgabe, die verschiedenen möglichen höheren Axoide in systematischer Ordnung zu besprechen. Nur ist noch die eine allgemeine Frage übrig geblieben, ob nicht die Regelflächen, gleichviel ob schrotend oder bloss rollend, noch eine karakteristische gemeinsame Eigenschaft haben, welche dann, da wir beim obersten Falle stehen, bis hinunter für sämmtliche

Einzelfälle gültig bliebe. Eine solche Eigenschaft lässt sich in der That noch angeben.

Errichtet man auf den Berührungskanten zweier zusammengehöriger Axoide an homologen Stellen Normalebenen, so hüllen diese an den Axoiden je eine Fläche ein, deren Elemente in der unmittelbaren Nähe der Berührungskanten auf diesen normal stehen. Diese Fläche führt bei dem Normalkegel den Namen Ergänzungskegel, siehe *HJ*, Fig. 35, beim Cylinder den Namen Endfläche; beim Rotationshyperboloid habe ich sie (die dort ein Kegel wird, *HJ*, Fig. 36) auch Ergänzungskegel genannt*); sie

Fig. 35. Fig. 36.



kann allgemein die Ergänzungsfläche der Regelfläche heissen. Diese Ergänzungsfläche denken wir uns an jedem der beiden zusammengehörigen Axoide ausgeführt. Wir erhalten dann an jedem der Axoide eine Durchschnittlinie zwischen der Umfläche und der Ergänzungsfläche — beim Normalkegel, dem Cylinder, Drehungshyperboloid einen Kreis, bei der Schraubenfläche eine Schraubenlinie u. s. w. — und nennen diese Linie allgemein den Ergänzungskontur des Axóids. Denkt man sich nun die Ergänzungskonturen beider Axoide auf die senkrecht zur Berührungslinie errichtete Ebene normal projizirt, so erhält man zwei Figuren, welche bei der Wanderung des Poles mit immer neuen Umfangstheilen sich gegenseitig berühren, immer aber so, dass an der Berührungsstelle gleich grosse Umfangsstückchen gleichzeitig vorübergehen, mit anderen Worten, dass die gedachten Projektionen aufeinander rollen. Beispielsweise sind diese Projektio-

*) Siehe meinen „Konstrukteur", IIIte Aufl. S. 452.

nen bei normalen hyperboloidischen Axoiden, siehe Fig. 34, Ellipsen, bei dem Falle Fig. 32 sind sie zwei schiefe Bilder von Schraubenlinien, d. i. so zu nennende elliptische Cykloiden [12]; bei dem Falle Fig. 33 besteht das Figurenpaar aus einer ebensolchen Cykloide und einer Ellipse. Wir können demnach schliesslich den obigen Satz noch um den folgenden vervollständigen: Die Schrotungen von Regelflächen, als welche die allgemeinsten Relativbewegungen zweier Körper aufgefasst werden können, finden so statt, dass die senkrecht zur Momentanachse stehenden Projektionen der Ergänzungskonturen ihrer Axoide **aufeinander rollen.**

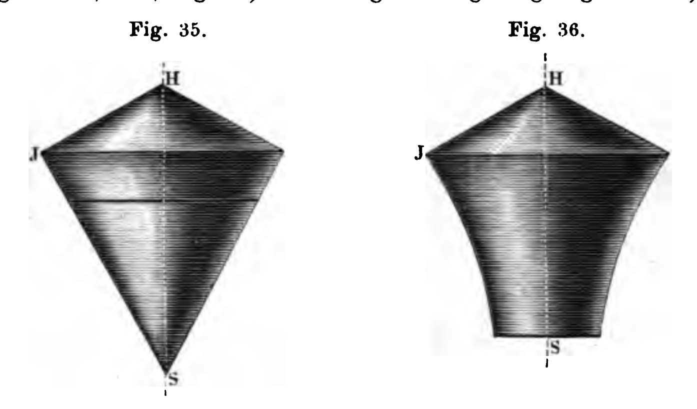
Dieser Satz bringt die sämmtlichen in der Maschine vorkommenden Bewegungen unter einen Hauptbegriff, von welchem die Einzelsätze besondere Anwendungen enthalten. So wie der alte Philosoph die stetige allmähliche Veränderung der Dinge einem Fliessen verglich, und sie in den Spruch zusammendrängte: „Alles fliesst“, so können wir die zahllosen Bewegungserscheinungen in dem wunderbaren Erzeugniss des Menschenverstandes, welches wir Maschine nennen, zusammenfassen in das eine Wort: „Alles rollt!“ Durch die ganze Maschine hindurch kommt, verdeckt oder offen, dasselbe Grundgesetz des Rollens in der gegenseitigen Bewegung der Theile zur Geltung, indem wir auch die geradlinige Gleitung als ein Rollen auf unendlich fernen Bahnen ansehen können. Ja man könnte dieselbe Auffassung, wie wir oben gelegentlich sahen, sogar auf alle kosmischen Bewegungserscheinungen ausdehnen. Denn unsere Untersuchungen bezogen sich keineswegs bloss auf die Ortsveränderungen in der Maschine, sondern galten von bewegten Körpern überhaupt.

Allein die rollenden geometrischen Gebilde, welche wir in die Körper des Kosmos hinein konstruiren können, sind nicht beständiger Natur. Sie haben Theil an dem allgemeinen „Fliessen“; sie verändern sich unaufhörlich in dem Wechsel der Erscheinungen, indem sie entweder in nichts zergehen, oder sich in andere stets wandelbare Bildungen umgestalten, genau angebbar in jedem Augenblicke nur in dem Rollungspunkte selbst. Auch in den planetarischen Bewegungen herrscht nur annähernd diejenige Beständigkeit, welche der strengen Darstellung durch Axoide fähig ist. In der Maschine dagegen führt die künstliche Beschränkung der Bewegungen dazu, dass die rollenden Figuren Bestand haben, wenigstens suchen wir diesen auf alle Weise zu sichern und über-

Einzelfälle gültig bliebe. Eine solche Eigenschaft lässt sich in der That noch angeben.

Errichtet man auf den Berührungskanten zweier zusammengehöriger Axoide an homologen Stellen Normalebenen, so hüllen diese an den Axoiden je eine Fläche ein, deren Elemente in der unmittelbaren Nähe der Berührungskanten auf diesen normal stehen. Diese Fläche führt bei dem Normalkegel den Namen Ergänzungskegel, siehe *HJ*, Fig. 35, beim Cylinder den Namen Endfläche; beim Rotationshyperboloid habe ich sie (die dort ein Kegel wird, *HJ*, Fig. 36) auch Ergänzungskegel genannt*); sie

Fig. 35. Fig. 36.



kann allgemein die Ergänzungsfläche der Regelfläche heissen. Diese Ergänzungsfläche denken wir uns an jedem der beiden zusammengehörigen Axoide ausgeführt. Wir erhalten dann an jedem der Axoide eine Durchschnittlinie zwischen der Umfläche und der Ergänzungsfläche — beim Normalkegel, dem Cylinder, Drehungshyperboloid einen Kreis, bei der Schraubenfläche eine Schraubenlinie u. s. w. — und nennen diese Linie allgemein den Ergänzungskontur des Axöids. Denkt man sich nun die Ergänzungskonturen beider Axoide auf die senkrecht zur Berührungslinie errichtete Ebene normal projizirt, so erhält man zwei Figuren, welche bei der Wanderung des Poles mit immer neuen Umfangstheilen sich gegenseitig berühren, immer aber so, dass an der Berührungsstelle gleich grosse Umfangsstückchen gleichzeitig vorübergehen, mit anderen Worten, dass die gedachten Projektionen aufeinander rollen. Beispielsweise sind diese Projektio-

*) Siehe meinen „Konstrukteur", IIIte Aufl. S. 452.

nen bei normalen hyperboloidischen Axoiden, siehe Fig. 34, Ellipsen, bei dem Falle Fig. 32 sind sie zwei schiefe Bilder von Schraubenlinien, d. i. so zu nennende elliptische Cykloiden [12]); bei dem Falle Fig. 33 besteht das Figurenpaar aus einer ebensolchen Cykloide und einer Ellipse. Wir können demnach schliesslich den obigen Satz noch um den folgenden vervollständigen: Die Schrotungen von Regelflächen, als welche die allgemeinsten Relativbewegungen zweier Körper aufgefasst werden können, finden so statt, dass die senkrecht zur Momentanachse stehenden Projektionen der Ergänzungskonturen ihrer Axoide **aufeinander rollen.**

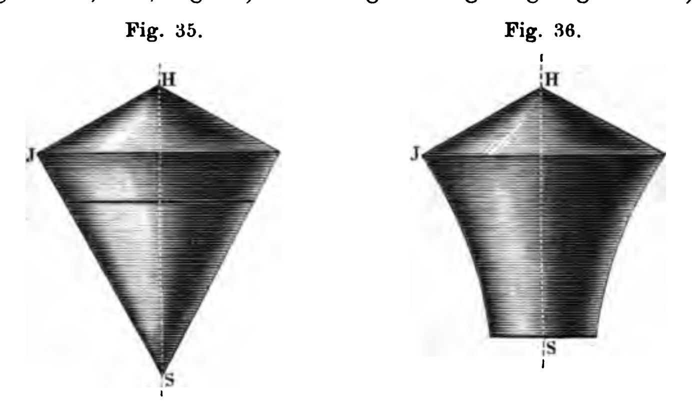
Dieser Satz bringt die sämmtlichen in der Maschine vorkommenden Bewegungen unter einen Hauptbegriff, von welchem die Einzelsätze besondere Anwendungen enthalten. So wie der alte Philosoph die stetige allmähliche Veränderung der Dinge einem Fliessen verglich, und sie in den Spruch zusammendrängte: „Alles fliesst“, so können wir die zahllosen Bewegungserscheinungen in dem wunderbaren Erzeugniss des Menschenverstandes, welches wir Maschine nennen, zusammenfassen in das eine Wort: „Alles rollt!“ Durch die ganze Maschine hindurch kommt, verdeckt oder offen, dasselbe Grundgesetz des Rollens in der gegenseitigen Bewegung der Theile zur Geltung, indem wir auch die geradlinige Gleitung als ein Rollen auf unendlich fernen Bahnen ansehen können. Ja man könnte dieselbe Auffassung, wie wir oben gelegentlich sahen, sogar auf alle kosmischen Bewegungserscheinungen ausdehnen. Denn unsere Untersuchungen bezogen sich keineswegs bloss auf die Ortsveränderungen in der Maschine, sondern galten von bewegten Körpern überhaupt.

Allein die rollenden geometrischen Gebilde, welche wir in die Körper des Kosmos hinein konstruiren können, sind nicht beständiger Natur. Sie haben Theil an dem allgemeinen „Fliessen“; sie verändern sich unaufhörlich in dem Wechsel der Erscheinungen, indem sie entweder in nichts zergehen, oder sich in andere stets wandelbare Bildungen umgestalten, genau angebbar in jedem Augenblicke nur in dem Rollungspunkte selbst. Auch in den planetarischen Bewegungen herrscht nur annähernd diejenige Beständigkeit, welche der strengen Darstellung durch Axoide fähig ist. In der Maschine dagegen führt die künstliche Beschränkung der Bewegungen dazu, dass die rollenden Figuren Bestand haben, wenigstens suchen wir diesen auf alle Weise zu sichern und über-

Einzelfälle gültig bliebe. Eine solche Eigenschaft lässt sich in der That noch angeben.

Errichtet man auf den Berührungskanten zweier zusammengehöriger Axoide an homologen Stellen Normalebenen, so hüllen diese an den Axoiden je eine Fläche ein, deren Elemente in der unmittelbaren Nähe der Berührungskanten auf diesen normal stehen. Diese Fläche führt bei dem Normalkegel den Namen Ergänzungskegel, siehe *HJ*, Fig. 35, beim Cylinder den Namen Endfläche; beim Rotationshyperboloid habe ich sie (die dort ein Kegel wird, *HJ*, Fig. 36) auch Ergänzungskegel genannt*); sie

Fig. 35. Fig. 36.



kann allgemein die Ergänzungsfläche der Regelfläche heissen. Diese Ergänzungsfläche denken wir uns an jedem der beiden zusammengehörigen Axoide ausgeführt. Wir erhalten dann an jedem der Axoide eine Durchschnittlinie zwischen der Umfläche und der Ergänzungsfläche — beim Normalkegel, dem Cylinder, Drehungshyperboloid einen Kreis, bei der Schraubenfläche eine Schraubenlinie u. s. w. — und nennen diese Linie allgemein den Ergänzungskontur des Axóids. Denkt man sich nun die Ergänzungskonturen beider Axoide auf die senkrecht zur Berührungslinie errichtete Ebene normal projizirt, so erhält man zwei Figuren, welche bei der Wanderung des Poles mit immer neuen Umfangstheilen sich gegenseitig berühren, immer aber so, dass an der Berührungsstelle gleich grosse Umfangsstückchen gleichzeitig vorübergehen, mit anderen Worten, dass die gedachten Projektionen aufeinander rollen. Beispielsweise sind diese Projektio-

*) Siehe meinen „Konstrukteur", IIIte Aufl. S. 452.

nen bei normalen hyperboloidischen Axoiden, siehe Fig. 34, Ellipsen, bei dem Falle Fig. 32 sind sie zwei schiefe Bilder von Schraubenlinien, d. i. so zu nennende elliptische Cykloiden [12]); bei dem Falle Fig. 33 besteht das Figurenpaar aus einer ebensolchen Cykloide und einer Ellipse. Wir können demnach schliesslich den obigen Satz noch um den folgenden vervollständigen: Die Schrotungen von Regelflächen, als welche die allgemeinsten Relativbewegungen zweier Körper aufgefasst werden können, finden so statt, dass die senkrecht zur Momentanachse stehenden Projektionen der Ergänzungskonturen ihrer Axoide **aufeinander rollen.**

Dieser Satz bringt die sämmtlichen in der Maschine vorkommenden Bewegungen unter einen Hauptbegriff, von welchem die Einzelsätze besondere Anwendungen enthalten. So wie der alte Philosoph die stetige allmähliche Veränderung der Dinge einem Fliessen verglich, und sie in den Spruch zusammendrängte: „Alles fliesst“, so können wir die zahllosen Bewegungserscheinungen in dem wunderbaren Erzeugniss des Menschenverstandes, welches wir Maschine nennen, zusammenfassen in das eine Wort: „Alles rollt!“ Durch die ganze Maschine hindurch kommt, verdeckt oder offen, dasselbe Grundgesetz des Rollens in der gegenseitigen Bewegung der Theile zur Geltung, indem wir auch die geradlinige Gleitung als ein Rollen auf unendlich fernen Bahnen ansehen können. Ja man könnte dieselbe Auffassung, wie wir oben gelegentlich sahen, sogar auf alle kosmischen Bewegungserscheinungen ausdehnen. Denn unsere Untersuchungen bezogen sich keineswegs bloss auf die Ortsveränderungen in der Maschine, sondern galten von bewegten Körpern überhaupt.

Allein die rollenden geometrischen Gebilde, welche wir in die Körper des Kosmos hinein konstruiren können, sind nicht beständiger Natur. Sie haben Theil an dem allgemeinen „Fliessen“; sie verändern sich unaufhörlich in dem Wechsel der Erscheinungen, indem sie entweder in nichts zergehen, oder sich in andere stets wandelbare Bildungen umgestalten, genau angebbar in jedem Augenblicke nur in dem Rollungspunkte selbst. Auch in den planetarischen Bewegungen herrscht nur annähernd diejenige Beständigkeit, welche der strengen Darstellung durch Axoide fähig ist. In der Maschine dagegen führt die künstliche Beschränkung der Bewegungen dazu, dass die rollenden Figuren Bestand haben, wenigstens suchen wir diesen auf alle Weise zu sichern und über-

und selbst leicht darstellbar, vielleicht aber zu gross im Maassstab ausfallen, z. B. für Körperpaare, welche sich mit konstantem aber nicht der Einheit gleichem Winkelgeschwindigkeitsverhältniss in gleichem Sinne umdrehen. Solche würden als Polbahnen Kreise erhalten, von denen der eine auf seiner Hohlseite berührt würde. Die sekundären Polbahnen der obigen Gattung werden hier Kreise, deren Durchmesser sich wie die der ursprünglichen verhalten, womit die Lage der Tangente *ik* sofort bestimmbar ist, siehe Fig 27. Ja selbst auch bei gegensinnigen Drehungen von konstantem Verhältniss eignen sich diese sekundären Polbahnen, siehe Fig. 28.

Fig. 27.

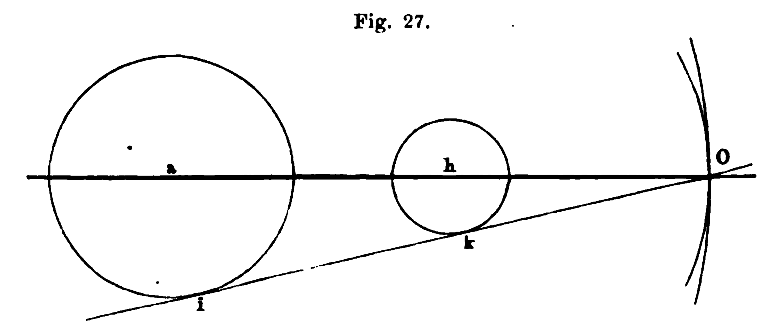
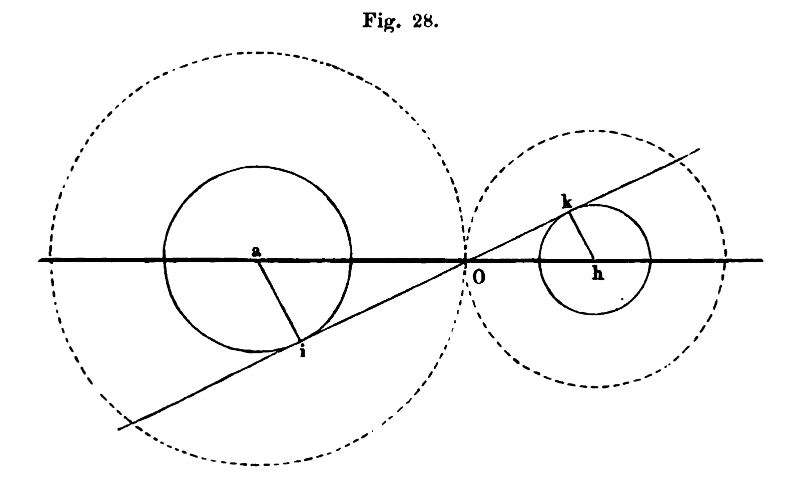


Fig. 28.



Die Tangente *ik* tritt hier nur in innere Berührung mit den sekundären Polkreisen. Bei den Methoden zur Ermittelung der Zahnprofile der Zahnräder spielen diese sekundären Polbahnen [11])

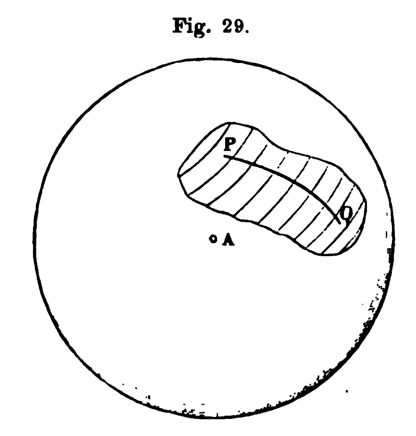
stellenweise eine wichtige und anerkannte Rolle; wir finden sie also bereits in die Methoden der Maschinenpraxis eingedrungen, oder haben umgekehrt ein vielfach benutztes Verfahren auf allgemeine phoronomische Prinzipien zurückführen können.

§. 10.

Drehung um einen Punkt.

Nachdem wir uns im Vorstehenden über die allgemeine Darstellungsweise der Relativbewegung in der Ebene Klarheit verschafft haben, gehen wir jetzt zu dem schwierigeren Problem der Relativbewegung im Raume über, wollen aber zuvörderst die eine Einschränkung noch beibehalten, dass ein Punkt des zu betrachtenden körperlichen Gebildes seinen Ort im Raume für uns nicht ändere. Wenn ein Körper sich so bewegt, dass jeder seiner Punkte einzeln von einem festen Punkte immer dieselbe Entfernung hat, so sagen wir von ihm, er drehe sich um diesen Punkt. Um die hierbei stattfindenden Bewegungserscheinungen als relative Bewegungen des Körpers gegen einen mit dem festen Punkt verbundenen ruhenden Körper kennen zu lernen, beschreiben wir aus dem festen Punkte A, Fig. 29, eine Kugel von einer solchen Grösse, dass dieselbe den beweglichen Körper schneidet. Kennen wir alsdann die Bewegung der so erhaltenen sphärischen Schnittfigur PQ auf der Kugel, so ist die Bewegung des Körpers offenbar bekannt. Die Bewegung der Figur PQ ist aber bestimmt, wenn man alle Lagen zweier ihrer Punkte P und Q, oder des sie verbindenden grössten Kreisbogens kennt. Denn von den Lagen dieser Bogenstrecke aus lassen sich die Lagen aller übrigen Punkte der sphärischen Figur als die Spitzen sphärischer Dreiecke aufsuchen, deren drei Seiten der

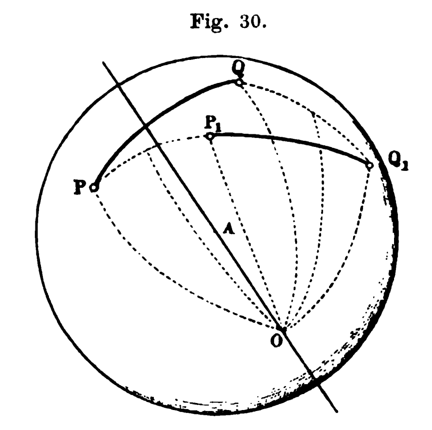
Fig. 29.



Grösse nach bekannt sind, und von deren Basis (PQ) man auch noch die Lage kennt. Auf die Untersuchung der sphärischen Bogenstrecke PQ hinsichtlich ihrer Bewegung reduzirt sich also die Relativbewegung eines Körpers um einen festen Punkt; auch können wir (entsprechend der oben gemachten Vereinfachung der Vorstellung für die ebene Bewegung) jede sphärische Figur durch eine in ihr gelegene Bogenstrecke ausdrücken.

Jede sphärische Figur PQ, Fig. 30, welche sich auf ihrer eigenen Kugelfläche bewegt, kann man aus einer ihrer Lagen, PQ, in eine andere, P_1Q_1, immer durch eine sphärische Drehung um einen Punkt O der Kugelfläche bringen, welchen man findet, wenn man auf den Mitten der Verbindungsbogen PP_1 und QQ_1 normal stehende grösste Kreisbogen errichtet und bis zum Schnitte verlängert. Der Schnittpunkt ist der gesuchte Punkt O, weil die sphärischen Dreiecke OPQ und OP_1Q_1 als seitengleich kongruent sind. Der Punkt O ist der zeitweilige Drehpunkt oder Pol für die vorgenommene sphärische Drehung. Die beiden normal errichteten grössten Kreisbogen schneiden einander aber zweimal, nämlich ausser in O auch noch in dem Gegenpunkt des zugehörigen Durchmessers, welcher durch den festen Punkt A hindurchgeht. Da aber der Voraussetzung nach die Figur PQ von dem festen Punkte A feste Abstände hat, so ändert der durch O, A und den Gegenpunkt gehende Durchmesser ebenfalls nicht seine Lage gegen die Figur, und ist somit zeitweilige Drehachse der betrachteten Bewegung.

Fig. 30.



Eine neue Drehung liefert einen zweiten Pol O_1, eine weitere einen dritten O_2 u. s. w., deren Verbindung durch grösste Kreise ein sphärisches Polvieleck liefert. Diesem entspricht ein zweites sphärisches Polvieleck, welches in fester Verbindung mit der beweglichen Figur steht. Legt man durch die Ecken und den festen Punkt Geraden, welche nichts anderes sind, als Kugeldurchmesser, so erhält man zwei Pyramiden, um deren Kanten die einzelnen diskreten Drehungen vor sich gehen.

§. 11.

Konische Rollung.

Wie man sieht, besitzt das eingeschlagene Verfahren die grösste Analogie mit dem für die ebene Bewegung angewandten. Fährt man in derselben Weise fort, wählt nämlich die Lagen von PQ unendlich benachbart, so gehen die Polvielecke in sphärische Polbahnen, die zeitweiligen Drehachsen in augenblickliche, die Pyramiden in allgemeine Kegel über, deren Spitzen in A zusammenfallen, und welche aufeinander rollen oder wälzen. Die Kegel sind die Momentanachsenkegel und die ganze Relativbewegung heisst eine Kegelrollung oder konische Rollung. Wir gelangen hiernach zu dem folgenden, die betrachteten Erscheinungen zusammenfassenden Satze: Alle Relativbewegungen zweier Körper, welche fortwährend einen Punkt gemeinsam haben, können als konische Rollungen aufgefasst werden, und sind den Bahnen der Punkte nach bestimmt, sobald man die zugehörigen Momentanachsenkegel kennt.

Es ist auch ferner sofort einleuchtend, dass die oben angestellten Betrachtungen über die Aufsuchung der Polbahnen und deren Reduktion sich auf die konische Rollung ohne weiteres übertragen lassen, weshalb wir diese Untersuchungen hier nicht zu erneuern brauchen.

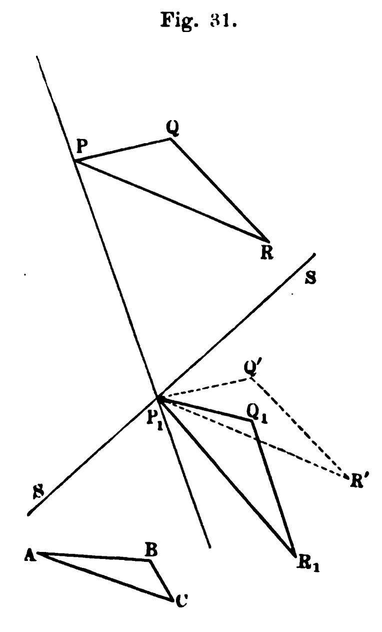
§. 12.

Allgemeinste Form der Relativbewegung fester Körper.

Kennt man die Orte dreier Punkte eines Körpers, so kann man von diesen aus den Ort jedes anderen Punktes des Körpers als die Spitze einer dreiseitigen Pyramide von bekannten Kantenlängen und gegebener Basislage bestimmen. Für die Relativbewegung zweier festen Körper können wir dieselben deshalb durch zwei in ihnen gelegene feste Dreiecke PQR und ABC ausdrücken. Bringen wir nun den Körper ABC zur Ruhe, so bewegt sich bloss PQR für uns, und möge aus der Lage PQR in die

Lage $P_1 Q_1 R_1$ gelangt sein, Fig 31. Diesen Lagenwechsel können wir auf vielerlei Art vollziehen. Legen wir z. B. durch P und P_1 eine Gerade, und verschieben PQR parallel derselben, bis P nach P_1 fällt, so haben wir der Figur PQR nur noch eine Drehung um eine durch P_1 gehende Achse SS, die sich jederzeit finden lässt, zu ertheilen, um die vorhin erzeugte Lage $P_1 Q' R'$ in die andere $P_1 Q_1 R_1$ zu verwandeln. Hiernach ist die allgemeinste Bewegung von PQR gegen ABC jedenfalls aus einer Parallelverschiebung und einer einfachen Achsendrehung zusammensetzbar, und zwar auf unendlich viele Arten. Die Schiebungsrichtung braucht dabei keineswegs mit der Verbindungslinie zweier Punktlagen parallel zu sein. Unter diesen unendlich vielen möglichen Arten befindet sich aber eine von besonderer Einfachheit, diejenige nämlich, in welcher die Schiebungsrichtung mit der Achse der Drehung parallel ist. Bei dieser aber läuft die Bewegung auf eine Drehung um eine Achse und die Entlanggleitung an derselben hinaus. Sind die Ortsveränderungen von PQR gegen ABC unendlich klein, so folgen die augenblicklichen Drehachsen, an welchen entlang auch gleichzeitig Gleitung stattfindet, unendlich nahe aufeinander.

Fig. 31.



§. 13.

Schrotung und Rollung von Regelflächen.

Man hat sich die soeben beschriebene Bewegungsform auf mehrerlei Weise zu versinnlichen gesucht, was in der That nicht ganz leicht ist. Poinsot schlägt vor, sich den ruhenden (oder ruhend gemachten) Körper als eine Schraube, den beweglichen Körper als eine Schraubenmutter vorzustellen, in welchem Falle

die Verschiebung der Schraubenachse entlang, die Drehung um diese herum — wie oben gefordert — stattfindet. Da aber die Bewegung mit veränderlicher Geschwindigkeit, sowohl was Schiebung, als was Drehung betrifft, vor sich geht, soll man sich die Schraube und ihre Mutter so vorstellen, als ob dieselben ihre Steigung nach jeder kleinen Fortschreitung änderten. Diese Vorstellung ist indess nicht klar zu fassen; ein so veränderliches Gebilde ist kein Körper mehr; man kommt bei der stärksten Anstrengung der Phantasie nicht dazu, eine Anschauung von so veränderlichen Wesen, wie diese Schraube und diese Schraubenmutter sein sollen, zu gewinnen, und reicht jedenfalls kaum weiter damit, als mit dem blossen Denken der Drehung und Schiebung im Raum.

Belanger macht zwei Vorschläge. Der erste ist: man solle sich ein Körperpaar mit Kegelrollung (wie oben §. 11) vorstellen, bei welchem die beiden Kegel gegen das ruhende Raumsystem eine Schiebungsbewegung besitzen. Die Achsendrehung wäre dann durch die Kegelrollung, die Schiebung durch die Translation des Körperpaares gegeben. Man könnte hiermit allenfalls den Vorgang veranschaulichen, hat aber dann die gesuchte Relativbewegung zweier Körper auf eine Dreiheit von Körpern reduzirt, was zwar in einzelnen Fällen zweckmässig, ja vielleicht unentbehrlich ist (vergl. oben §. 9), allein womöglich doch durch eine einfachere Vorstellung ersetzt werden sollte.

Der zweite Vorschlag Belanger's ist, die aufeinanderfolgenden Achsenlagen als eine Regelfläche an dem einen wie am andern Körper einhüllend anzusehen, worauf sich die Bewegung auf die Rollung zweier Regelflächenkörper unter jedesmaliger Gleitung der einander berührenden Kanten aneinander entlang zurückführt. Dieser Vorstellungsweise haben sich andere Neuere angeschlossen. In der That ist sie auch als unmittelbare Folgerung aus dem zu ziehen, was wir oben fanden, da die Aufeinanderfolge der gleichzeitigen Dreh- und Gleitachsen an jedem der beiden Körper solche Regelflächengebilde als Momentanachsenkörper einhüllt.

Die eigenthümliche Bewegung, bei welcher Gleitung und Drehung an einer Geraden entlang und um dieselbe herum stattfindet, kann man Schroten nennen. Auch wollen wir nun, da wir beim allgemeinsten Standpunkte angelangt sind, die gefundenen Körper, deren Aufeinanderbewegung der Ausdruck der Relativbewegungen ist, mit einem gemeinsamen Namen bezeichnen. Sie können, da sie stets eine Aufeinanderfolge von Achsen an sich

tragen, Axoide genannt werden. Hiernach lässt sich das Gefundene in folgenden Satz zusammenfassen: Alle Relativbewegungen zweier Körper können als Schrotungen oder Rollungen von Regelflächen oder Axoiden aufgefasst werden.

Aus diesem allgemeinen Lehrsatze müssen sich die weiter oben vereinzelt gefundenen durch entsprechende Verringerung und Vereinfachung der Bedingungen ergeben. In der That ist es nicht schwer, sich vorzustellen, wie eine Regelfläche in einen allgemeinen Kegel übergeht, oder ein allgemeiner Cylinder wird, wobei statt der Schrotbewegung beidemal bloss Rollbewegung auftritt. Dennoch darf man die Schlussfolgerung nicht dahin ausdehnen, dass man diesen beiden Fällen allein die reine Rollbewegung zuschreibt (wie meines Wissens bisher angenommen wurde). Die Bedingung für den Wegfall der Kantengleitung ist nicht die, dass entweder sämmtliche Kanten sich in einem Punkte schneiden, wie beim Kegel, oder parallel werden, wie beim Cylinder, sondern die höhere Bedingung, dass die beiden Regelflächen so gestaltet sind, dass ihre unendlich benachbarten Kantenfolgen an homologen Stellen Flächen von derselben Gestalt einschliessen, oder wie die Geometrie sich ausdrückt, aufeinander abwickelbar sind.

Ein Kegelmantel ist auf einem anderen Kegelmantel abwickelbar, ein Cylinder auf einem Cylinder, weil die Flächenstreifchen zwischen unendlich benachbarten Kanten an homologen Stellen gleiche Veränderungen eingehen. Deshalb können auch allgemeine Regelflächengebilde aufeinander rollen, sobald ihre Umflächen nur aufeinander abwickelbar sind. So z. B. können zwei Schraubenflächen aufeinander abwickelbar hergestellt werden und bei geeigneter Anordnung, Fig. 32, aufeinander rollen; ebenso eine Schraubenfläche und ein Hyperboloid, Fig. 33 *). Ganz nahe verwandte Formen kommen thatsächlich im Maschinenbau zur Verwendung **); es liegt also sowohl im Interesse des Theoretikers als des Praktikers, wenn wir auf diese Konsequenzen eingehen.

Regelflächen, welche aufeinander schroten, verwendet der Maschinenbau ebenfalls; solche sind die Axoide der hyperboloidischen Zahnräder, welche Fig. 34 andeutet; unausgeführt bleiben

*) In der kinematischen Sammlung der Königl. Gew.-Akademie durch ein Modell erläutert.

**) Siehe z. B. Johnson's Imperial Cyclopaedia, Steam Engine, Moisons Regulator, S. 49.

diese Axoide, obgleich sie immerhin die Relativbewegung ausdrücken, bei den Schraubenrädern mit geschränkten Achsen.



Fig. 32. Fig. 33.

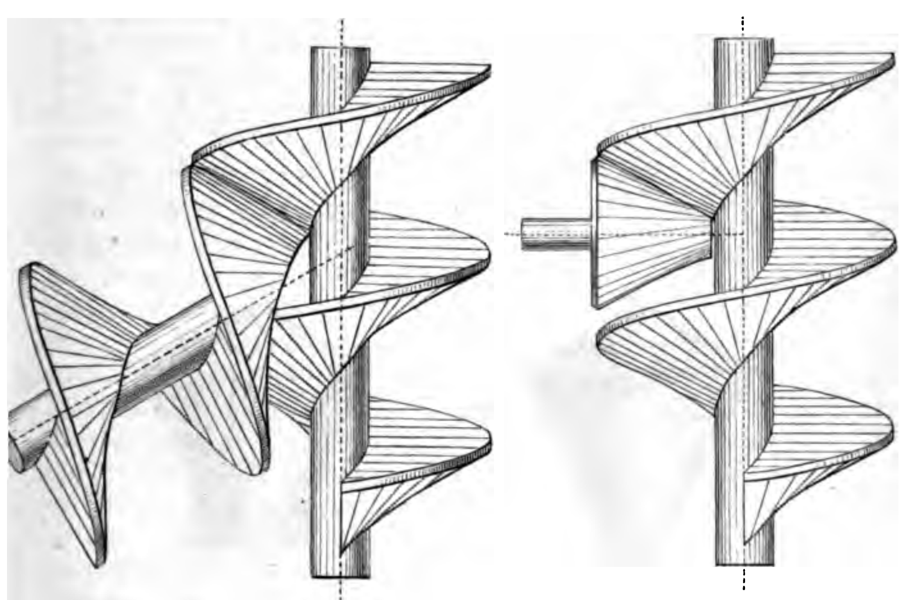
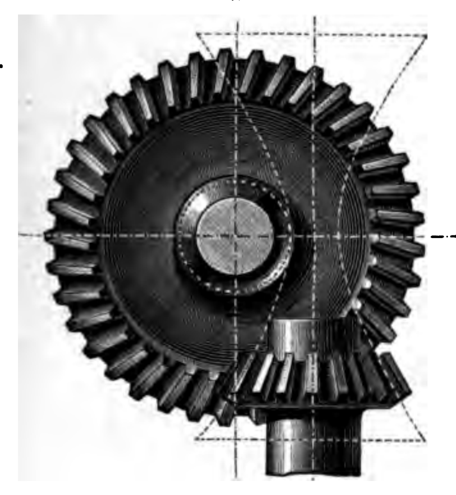


Fig. 34.

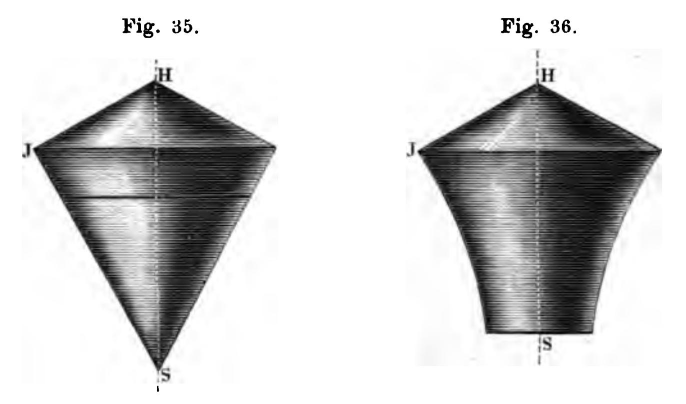


Es liegt ausser dem Bereich unserer gerade hier vorliegenden Aufgabe, die verschiedenen möglichen höheren Axoide in systematischer Ordnung zu besprechen. Nur ist noch die eine allgemeine Frage übrig geblieben, ob nicht die Regelflächen, gleichviel ob schrotend oder bloss rollend, noch eine karakteristische gemeinsame Eigenschaft haben, welche dann, da wir beim obersten Falle stehen, bis hinunter für sämmtliche

Einzelfälle gültig bliebe. Eine solche Eigenschaft lässt sich in der That noch angeben.

Errichtet man auf den Berührungskanten zweier zusammengehöriger Axoide an homologen Stellen Normalebenen, so hüllen diese an den Axoiden je eine Fläche ein, deren Elemente in der unmittelbaren Nähe der Berührungskanten auf diesen normal stehen. Diese Fläche führt bei dem Normalkegel den Namen Ergänzungskegel, siehe *HJ*, Fig. 35, beim Cylinder den Namen Endfläche; beim Rotationshyperboloid habe ich sie (die dort ein Kegel wird, *HJ*, Fig. 36) auch Ergänzungskegel genannt*); sie

Fig. 35. Fig. 36.



kann allgemein die Ergänzungsfläche der Regelfläche heissen. Diese Ergänzungsfläche denken wir uns an jedem der beiden zusammengehörigen Axoide ausgeführt. Wir erhalten dann an jedem der Axoide eine Durchschnittlinie zwischen der Umfläche und der Ergänzungsfläche — beim Normalkegel, dem Cylinder, Drehungshyperboloid einen Kreis, bei der Schraubenfläche eine Schraubenlinie u. s. w. — und nennen diese Linie allgemein den Ergänzungskontur des Axöids. Denkt man sich nun die Ergänzungskonturen beider Axoide auf die senkrecht zur Berührungslinie errichtete Ebene normal projizirt, so erhält man zwei Figuren, welche bei der Wanderung des Poles mit immer neuen Umfangstheilen sich gegenseitig berühren, immer aber so, dass an der Berührungsstelle gleich grosse Umfangsstückchen gleichzeitig vorübergehen, mit anderen Worten, dass die gedachten Projektionen aufeinander rollen. Beispielsweise sind diese Projektio-

*) Siehe meinen „Konstrukteur", IIIte Aufl. S. 452.

nen bei normalen hyperboloidischen Axoiden, siehe Fig. 34, Ellipsen, bei dem Falle Fig. 32 sind sie zwei schiefe Bilder von Schraubenlinien, d. i. so zu nennende elliptische Cykloiden [12]; bei dem Falle Fig. 33 besteht das Figurenpaar aus einer ebensolchen Cykloide und einer Ellipse. Wir können demnach schliesslich den obigen Satz noch um den folgenden vervollständigen: Die Schrotungen von Regelflächen, als welche die allgemeinsten Relativbewegungen zweier Körper aufgefasst werden können, finden so statt, dass die senkrecht zur Momentanachse stehenden Projektionen der Ergänzungskonturen ihrer Axoide **aufeinander rollen.**

Dieser Satz bringt die sämmtlichen in der Maschine vorkommenden Bewegungen unter einen Hauptbegriff, von welchem die Einzelsätze besondere Anwendungen enthalten. So wie der alte Philosoph die stetige allmähliche Veränderung der Dinge einem Fliessen verglich, und sie in den Spruch zusammendrängte: „Alles fliesst“, so können wir die zahllosen Bewegungserscheinungen in dem wunderbaren Erzeugniss des Menschenverstandes, welches wir Maschine nennen, zusammenfassen in das eine Wort: „Alles rollt!“ Durch die ganze Maschine hindurch kommt, verdeckt oder offen, dasselbe Grundgesetz des Rollens in der gegenseitigen Bewegung der Theile zur Geltung, indem wir auch die geradlinige Gleitung als ein Rollen auf unendlich fernen Bahnen ansehen können. Ja man könnte dieselbe Auffassung, wie wir oben gelegentlich sahen, sogar auf alle kosmischen Bewegungserscheinungen ausdehnen. Denn unsere Untersuchungen bezogen sich keineswegs bloss auf die Ortsveränderungen in der Maschine, sondern galten von bewegten Körpern überhaupt.

Allein die rollenden geometrischen Gebilde, welche wir in die Körper des Kosmos hinein konstruiren können, sind nicht beständiger Natur. Sie haben Theil an dem allgemeinen „Fliessen“; sie verändern sich unaufhörlich in dem Wechsel der Erscheinungen, indem sie entweder in nichts zergehen, oder sich in andere stets wandelbare Bildungen umgestalten, genau angebbar in jedem Augenblicke nur in dem Rollungspunkte selbst. Auch in den planetarischen Bewegungen herrscht nur annähernd diejenige Beständigkeit, welche der strengen Darstellung durch Axoide fähig ist. In der Maschine dagegen führt die künstliche Beschränkung der Bewegungen dazu, dass die rollenden Figuren Bestand haben, wenigstens suchen wir diesen auf alle Weise zu sichern und über-

haupt grundsätzlich herbeizuführen; hier ist er daher, an sich betrachtet, für uns vorhanden.

Hier durchlaufen diese Figuren ungezählte Male periodisch ihre gegenseitigen Lagenänderungen; sie ruhen beim Stillstand der Maschine, beginnen aber wieder in unveränderter Gestalt ihr Spiel, sobald die treibende Kraft dem Ganzen wieder Leben einflösst; dauernd ruht nur der eine Theil, der als Bindeglied die übrigen mit dem ruhenden Raume verknüpft.

Für den praktischen Mechaniker, welcher sich mit der neueren Phoronomie vertraut gemacht hat, und mehr noch für den theoretischen, ist deshalb die Maschine auf besondere Art belebt durch die überall in ihr rollenden geometrischen Gebilde. Einzelne derselben treten leibhaftig hervor, wie an den Riemscheiben, den Reibungsrädern, z. B. denjenigen der Eisenbahnen; andere, wie die der Zahnräder, sind leicht umschleiert von gitterartigen Hüllen; wiederum andere sind eng zusammengezogen auf das Innere massiger Körper, welche in ihrer Aussenform kaum etwas von jenen verrathen, wie diejenigen in den Bogenscheiben und dergl., von denen wir weiter unter nähere Kenntniss erhalten werden; noch andere endlich, wie die der aus Kurbeln und Gestängen gebildeten Mechanismen, sind ausgedehnte, die Körper weit umspannende, ja ihre Aeste ins Unendliche streckende, äusserlich ganz unerkennbare Gebilde. Sie alle vollführen, theils vor dem leiblichen, theils vor dem geistigen Auge des Kinematikers ihr seltsames unermüdliches Spiel. Inmitten des oft sinnverwirrenden Geräusches ihrer körperlichen Vertreter vollziehen sie ihre geräuschlose Lebensfunktion des Rollens. Sie sind gleichsam die Seele der Maschine, den körperlichen Bewegungsäusserungen derselben gebietend und sie in einem reinen Lichte wiederspiegelnd. Sie sind die geometrische Abstraktion der Maschine, und verleihen dieser neben ihrer äusseren eine innere Bedeutung, welche dieselbe unserem geistigen Interesse ungleich näher bringt, als es ohne sie möglich wäre.

DRITTES KAPITEL.

ELEMENTENPAARE.

§. 14.

Verschiedene Arten von Elementenpaaren.

Wir haben oben bei der allgemeinen Lösung des Maschinenproblems, S. 46 ff., gefunden, dass die elementaren oder als elementar zu bezeichnenden Theile der Maschine nicht einzeln, sondern immer paarweise zur Verwendung kommen, dass also die Maschine vom kinematischen Gesichtspunkte aus nicht sowohl in Elemente, als in Elementenpaare zerfällt werden muss. Die geometrische Form derselben ist es, mit welcher wir uns vor allem bekannt machen müssen.

Indem wir unsere Untersuchungen vorerst auf die allseitig festen Körper, also solchen, deren Zusammenhang sich der Starrheit annähert, einschränken wollen, liegt uns bei der Konstruktion der Elementenpaare die Aufgabe vor, mittelst bloss zweier Körper oder Elemente eine gegebene oder geforderte Bewegung zu bestimmen. Den früheren Erörterungen gemäss müssen dann die Elemente folgenden Bedingungen Genüge leisten:

1) das eine Element ist gegen das als ruhend angenommene Raumsystem festzustellen;
2) dasselbe muss so geformt sein, dass es die Umhüllungsform des beweglich gelassenen anderen Elementes an sich trägt, welche Umhüllungsform

3) so beschaffen sein muss, dass sie alle Bewegungen des zweiten Elementes ausser der geforderten verhindert.

Das ruhende Element hält dann das bewegliche gleichsam gefangen, ihm alle Bewegungen bis auf eine einzige verwehrend, es also bei überhaupt eintretender Bewegung zwingend, sich mit seinen Punkten in bestimmten Bahnen zu bewegen; das Körperpaar kann demnach dann als ein zwangläufiges[13]) bezeichnet werden. Bedenkt man, dass die relative Bewegung zweier Körper, wie im vorigen Artikel nachgewiesen wurde, eine reiche Fülle von Formen anzunehmen vermag, so sieht man leicht ein, dass für zwangläufige Körperpaare sehr viele geometrische Formen in Betracht kommen können. Alle Paare von geometrischen Formen, welche den beiden letzten der obigen Bedingungen entsprechen, haben aber das eine gemein, dass sie Umhüllungsformen, und zwar gegenseitige Umhüllungsformen zu der (durch ihre Axoide darstellbaren) gegebenen Bewegung sind. Sie können dabei (ebenso wie ihre Axoide) mehr oder weniger einfach sein. Ja es ist denkbar, dass die beiden Bedingungen auch erfüllt werden können, wenn das eine der Elemente das andere nicht bloss umhüllt, sondern auch noch umschliesst, d. h. seine Hohlform oder Gegenform zur Form hat, beide Formen also geometrisch identisch sind. Ein solches Körperpaar möge ein Umschlusspaar heissen.

Offenbar unterscheiden sich die Umschlusspaare durch Einfachheit wesentlich von den Paaren, deren Elemente nicht identisch in der Form sind. Wir wollen sie deshalb getrennt und zuerst behandeln.

§. 15.

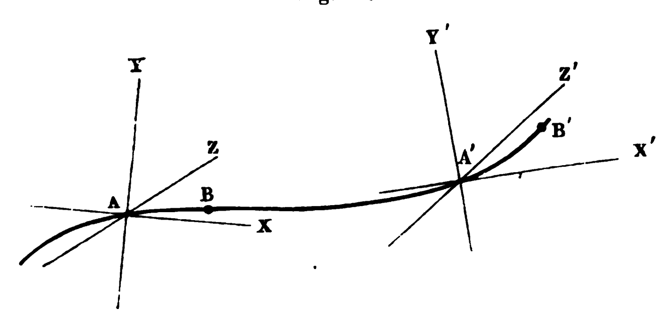
Aufsuchung der Umschlusspaare.

Die geometrischen Eigenschaften der körperlichen Gebilde, aus welchen Umschlusspaare hergestellt werden können, sind so bestimmter Natur, dass wir diese Paare nicht in der Maschinenpraxis erst aufzusuchen brauchen, sondern versuchen dürfen, sie *a priori* zu ermitteln.

Zwei ein Umschlusspaar bildende Körper decken einander mit ihren Flächen; an diesen kommen also unendlich viele einander

deckende Kurven vor, und unter diesen können sich solche befinden, in deren jedesmaliger Richtung die einzige mögliche Bewegung vor sich geht, die also auf einander gleiten. Hebt man zwei dieser einander deckenden Gleitkurven heraus, die eine dem einen, die zweite dem anderen Elemente angehörig, so kann man die eine über die andere hingleiten lassen, ohne dadurch ihr Zusammenfallen aufzuheben. Wird also in zwei Punkten A und A' der beiden Kurven, Fig. 37, je eine Schmiegungsebene an dieselben

Fig. 37.



gelegt; werden ferner in A und A' homologe Koordinatensysteme X, Y, Z, X', Y', Z' angebracht, so besagt die Eigenschaft des Umschliessens und Gleitens, dass ein Kurvenstück AB stets kongruent mit dem gleichlangen $A'B'$ ist, wohin auch A' auf der Kurve verschoben werde, dass also AB mit $A'B'$ zusammenfällt, wenn A nach A', B nach B', X nach X' gebracht wird. Das heisst: die Bedingung des mit Beweglichkeit verbundenen Umschlusses wird erfüllt, wenn für die Gleitkurven die Gleichung gilt:

Fig. 38.



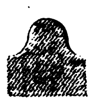
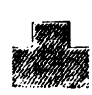
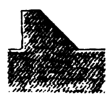
$$f(x, z) = f(x', z')$$

oder, wenn $y = y'$, sobald $x = x'$ und $z = z'$ ist. Diese Bedingung erfüllt allgemein nur die cylindrische Schraubenlinie oder Normalschraubenlinie. Es bil-

den demnach allgemein die Normalschraube und ihre Schraubenmutter ein Umschlusspaar (Fig. 38).

Die Form der Schraube ist indessen hierbei nicht völlig gleichgültig, indem nach der dritten Bedingung nur eine einzige Bewegung statthaft sein soll, welche hier die der Schraubenlinie nachgehende sein muss. Schraube und Mutter müssen demnach so profilirt werden, dass alle und jede normal zu der Schraubenlinie gerichtete Bewegung unmöglich wird. Dieses geschieht, wenn man das senkrecht zu den Gleitungsschraubenlinien gerichtete Profil, d. i. das Profil der Ergänzungsschraubenfläche, von einer Normalschraube verschieden macht, und zwar so formt, dass einander entgegengerichtete Profiltheile daran vorkommen, z. B. so wie folgende Figur auf mehrere Arten andeutet.

Fig. 39.


Da nämlich der Umschluss jede Relativbewegung verhindert, Profile wie die vorstehenden aber alle quer auf die Gleitungsschraube gerichteten unmöglich machen, so bleibt bloss die der Gleitungsschraubenlinie entlang gehende Bewegung möglich. Man weiss, dass die Befestigungs- und andere Schrauben mit solchen Profilen ausgeführt werden. Würde man aber als Erzeugende der Schraubenfläche eine gerade Strecke anwenden, welche der Schraubenachse parallel liegt, und länger ist als die Schraubensteigung, so entstände zwar auch eine Schraube, aber eine solche, deren äussere Form mit einem Normalcylinder zusammenfällt, deren Ergänzungsfläche also wiederum eine Normalschraubenlinie zum Profil hat; das damit erzeugte Körperpaar würde also bloss an relativen Radialbewegungen verhindert sein, in allen übrigen Bewegungen aber nicht zwangläufig sein.

Das gefundene Umschlusspaar, bestehend aus einer passend profilirten Normalschraube nebst Schraubenmuttter können wir nun noch hinsichtlich seiner urveränderlichen Werthe näher betrachten. Dieselben sind der Halbmesser oder Parameter und der zugehörige Steigungswinkel.

Durch Veränderungen des Halbmessers erhalten wir keine neue Form, die typische Schraubenform bleibt immer erhalten.

Anders ist es mit dem Steigungswinkel. Lassen wir denselben zunächst mehr und mehr abnehmen, so wird die Steigung an einem und demselben Halbmesserpunkte kleiner und kleiner; wenn endlich der Winkel Null wird, so verschwindet die Steigung gänzlich; das rotirende Profil beschreibt aber dann einen Rotationskörper. Die Ergänzungsschraube hat inzwischen den Steigungswinkel 90° angenommen, das Profil ihrer Schnittfläche ist also in das Erzeugungprofil des Rotationskörpers selbst übergegangen, und somit ist das Resultat: ein Paar von einander umschliessenden Drehungskörpern, deren Axialprofil Verschiebungen in der Achsenrichtung nicht gestattet. Fig. 40 stellt beispielsweise ein solches Paar dar, wobei die Schraubenmutter, in einen hohlen Drehungskörper übergegangen, im Durchschnitt dargestellt ist; die Bewegung, welche dem Hohlkörper möglich ist, ist eine blosse Rotation.

Fig. 40.



Lässt man den Steigungswinkel wachsen statt abnehmen, so wird die Schraube steiler und steiler. Machen wir den Winkel = 90°, so werden die Schraubenkanten parallel der Achse, die Schraube wird also ein Prisma, die Schraubenmutter ein dasselbe umschliessendes Hohlprisma. Die Ergänzungsschraubenfläche, deren Steigung inzwischen Null geworden, ist in einen Normalschnitt des Prismas übergegangen, immer unter Beibehaltung des die Querbewegung verhütenden Profils, d. h. jetzt, eines Profils, welches kein Kreis ist. Das Resultat ist also: ein Paar von einander umschliessenden Prismen, deren Normalprofil Drehungen um die Prismenachse nicht gestattet, siehe Fig. 41. Die einzig mögliche Bewegung des Hohlprismas ist eine Verschiebung längs den Kanten des Vollprismas.

Weitere Abänderungen des Steigungswinkels liefern nichts neues; zwar geht die Schraube, wenn wir den Steigungswinkel > 90° machen, aus einer Rechts- in eine Linksschraube über, sie bleibt aber dabei eine Schraube; wir hatten überdies eine Annahme über das Rechts- oder Links-Steigen der Schraube nicht einmal gemacht. Demnach ist das Problem des Umschlusspaares

durch die angestellte Untersuchung erschöpft. Die drei gefundenen Formen verdienen, obwohl sie alle drei unter den Begriff der Schraube geordnet werden könnten, getrennt zu werden, und wir haben demnach drei Umschlusspaare zu unterscheiden. Sie sind, um es kurz zu wiederholen:

Fig. 41.



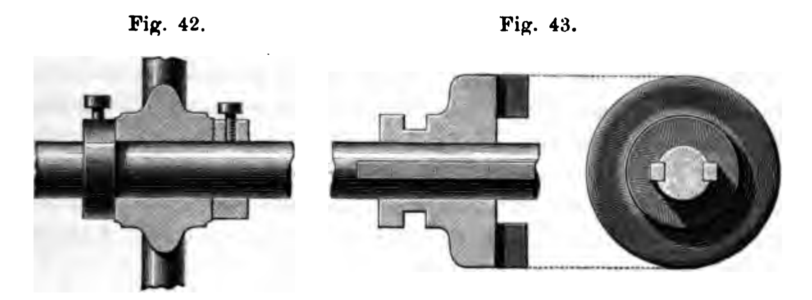
1) die Normalschraube mit Mutter,
2) der Drehungskörper mit seiner Hohlform,
3) das Prisma mit seiner Hohlform,

alle drei mit Ergänzungsprofilen versehen, welche das, was wir die Querbewegung genannt haben, verhindern; sie sind geeignet zur Erzielung dreier Arten von zwangläufiger Bewegung, nämlich a) Bewegung in Schraubenwindungen, b) in kreisförmigen Bahnen, c) in geradlinigen Bahnen.

Die Maschinenpraxis kennt alle drei sehr wohl, das Schraubenpaar für Befestigungs- und Bewegungszwecke, das Drehkörperpaar bei Zapfen und Lager u. dergl., das Prismenpaar bei geradgeleiteten Schiebern aller Art. Jene Eigenschaft des Ergänzungsprofils, Querverschiebungen zu verhindern, wird ihm auf mancherlei Weise ertheilt. Die „Anläufe“, „Bünde“ oder „Anpässe“ der Zapfen an Achsen und Wellen sind die Träger dieser Ergänzungsprofiltheile. Soll an einer cylindrischen Welle oder Achse, welche der Bequemlichkeit halber ganz glatt cylindrisch hergestellt ist, ein Drehkörperpaar gebildet werden, so hilft der bekannte Stellring, siehe Fig. 42, dazu, den Schluss des Paares herbeizuführen. Die Bequemlichkeit, welche die Drehbank für die Herstellung des Cylinders bietet, führt dazu, fertige Cylinder in Prismen zu verwandeln, indem man „Nuth und Feder“ denselben anfügt, Fig. 43. Die Befestigung eines Körpers an einem anderen geschieht, wenn die angreifenden Kräfte Verdrehungen anstreben, mittelst solcher Prismatisirung eines cylindrischen Körpers unter Benutzung der Längs- und Querkeile u. s. w. Kurz der praktische Maschinenbauer ist aufs mannigfaltigste darin

geübt, die Erfüllung der oben ausgesprochenen Bedingung zu bewirken.

Fig. 42. Fig. 43.



§. 16.

Bewegungen in den Umschlusspaaren.

Wir haben in dem Vorigen gefunden, dass es drei Elementenpaare gibt, welche die eigenthümliche Forderung der unausgesetzten Umschliessung der gepaarten festen Körper erfüllen. Beachtenswerth ist, dass sich nur drei derselben angeben lassen, im allgemeinen wohl ein merkwürdiges Resultat der Untersuchung, da man bei dem ungemessenen Reichthum an Fällen in der Maschine von vornherein geneigt sein möchte, eine sehr grosse Zahl solcher Möglichkeiten vorauszusetzen. Diese drei einzigen Fälle sind aber ausserdem noch besonders karakteristisch wegen der durch sie ermöglichten zwangläufigen Bewegungen.

Im Schraubenpaar beschreiben alle Punkte der Schraubenmutter Schraubenlinien, und zwar gleiche Schraubenlinien, wenn die beschreibenden Punkte gleichweit von der Achse abliegen. Diese Bewegungen sind zusammengesetzt aus einer Achsendrehung und einer Gleitung längs einer Achse und zwar ist diese Achse immer die Schraubenachse selbst. Das „Axoid“, welches der Schraubenspindel angehört (siehe §. 13), ist also eine gerade Linie, welche mit der Schraubenachse zusammenfällt. Das Axoid der Schraubenmutter können wir alsbald dadurch finden, dass wir die Schraubenmutter feststellen und nun Bewegung einleiten: es entsteht alsbald eine schraubenförmige Bewegung aller Punkte der Schraubenspindel gegen die Mutter und zwar in gleichen Schraubenlinien für gleichweit von der

Achse abstehende Punkte, d. i. ganz dieselbe Bewegung, welche wir vorhin fanden. Mithin ist das Axoid der Schraubenmutter ebenfalls eine Gerade, welche mit der geometrischen Achse zusammenfällt. Diese gleitet an der ersten entlang, indem sie gleichzeitig um sie herumrollt, und zwar um Winkel, welche dem Fortschritt der Gleitung proportional sind. Wir haben also in dem Elementenpaar Normalschraube und Mutter den allgemeinsten Fall der Schrotung der Axoide vor uns, zugleich aber in der Reduktion auf die denkbar einfachste Form, indem die beiden Axoide auf die schrotenden Achsen selbst zusammengeschrumpft sind.

Bei dem Drehkörperpaare beobachten wir etwas Verwandtes. Hier beschreiben alle Punkte des beweglichen Hohlkörpers Kreise um Punkte der geometrischen Achse des ruhenden Rotationskörpers, und zwar gleiche Kreise, wenn die Achsenabstände der beschreibenden Punkte gleich sind. Das Axoid des feststehenden Körpers ist also eine mit seiner geometrischen Achse zusammenfallende Gerade. Eine ebensolche erhalten wir als Axoid für den Hohlkörper, wenn wir nunmehr diesen feststellen, und den Vollkörper in Bewegung setzen. Demnach sind die Axoide für das Elementenpaar Drehungskörper und Hohlform zwei zusammenfallende Achsen, die sich umeinander drehen, zugleich die denkbar einfachste Form der cylindrischen Rollung, indem die beiden Achsencylinder zu geraden Linien zusammengeschrumpft sind.

Beim Prismenpaar endlich fällt jede Drehung weg; das Schroten der Momentanachsen geht in blosses Gleiten derselben aneinander entlang über. Als Axoide kann man die geometrischen Achsen der beiden Prismen ansehen. Jedoch ist bei einem Prisma der Begriff der geometrischen Achse nicht so definirbar, wie bei dem Rotationskörper oder der Schraube; man kann auch jedes beliebige Paar zusammenfallender Kanten oder zusammenfallender Parallelen zu den Kanten als Axoide annehmen.

Hier ist also das andere Extrem des allgemeinsten Falles der Schrotung verwirklicht, dasjenige, bei welchem die Gleitung allein übrig geblieben ist.

Gehen wir nun noch einen kleinen aber wichtigen Schritt weiter. Wir hatten oben als erste Bedingung für die Erzwingung einer gegebenen Bewegung durch ein Körperpaar diejenige aufgestellt, dass das eine Element mit dem als ruhend anzusehenden

Punktsysteme fest verbunden werden müsse. Dieser Bedingung können wir uns entledigen. Denn setzen wir jetzt beide Elemente, die wir richtig gepaart haben, in Bewegung, so bleibt zwischen jedem der Elemente und seinem Partner die vorhin absolut gewesene, oder für uns absolut gedachte Bewegung bestehen; sie ist aber nun die relative Bewegung des Elementes gegen den Partner. Wir können also nun die gefundenen Elementenpaare auch in kinematische Ketten einführen, wo dann die Relativbewegung der gepaarten Elemente in diejenige der mit den Elementen verbundenen Glieder der kinematischen Kette übergeht.

Nach allem diesem stellen die drei Umschlusspaare die drei Grenzfälle der in §. 12 und 13 besprochenen allgemeinsten Form der Relativbewegung vor, nämlich, indem wir die Reihenfolge umkehren: reine Gleitung allein, reine Achsendrehung allein, reine Gleitung verbunden mit reiner, der Gleitung proportionaler Achsendrehung.

Dies ist die eine der eigenthümlichen Seiten der Umschlusspaare. Eine andere ebenfalls sehr beachtenswerthe haben wir inzwischen bereits beobachtet, ohne sie hervorzuheben. Es ist die, dass bei der Vertauschung des festgestellten Elementes mit dem beweglichen keine Aenderung in der erzeugten absoluten Bewegung eintrat. Die Gleichheit der Axoide beweist diese Erscheinung allgemein. Sie ist aber ungemein wichtig und für die Praxis des Maschinenbaues ausserordentlich werthvoll. Das Vertauschen des einen Elementes eines Elementenpaares mit dem anderen, oder, wie wir sagen können, die Vertauschung eines Elementes mit seinem Partner hinsichtlich seiner Befestigung wollen wir für die Folge das Umkehren des Paares nennen, und können daher die in Rede stehende Eigenschaft so aussprechen: Bei den Umschlusspaaren bewirkt die Umkehrung keine Aenderung in der im Paare erzeugten Bewegung.

Auch von diesem Satze macht die Maschinenpraxis unzählige Anwendungen. Wo z. B. eine Kopfschraube, Fig. 44 a (a. f. S.), statt einer Mutterschraube, Fig. 44 b (a. f. S.), angewandt wird, hat nur Umkehrung des Paares Schraube und Mutter stattgefunden. Beim gewöhnlichen Frachtwagenrad ist die Achse am Wagenkörper fest, das Rad mit dem Hohlkörper auf ihr beweglich, beim Eisenbahnwagenrad der Hohlkörper am Wagengestell undrehbar angebracht, der Vollkörper mit dem Rade verbunden und beweglich. Bei Schlit-

tenführungen für geradlinige Bewegungen wendet man je nachdem es passt die Anordnung Fig. 45 oder die Fig. 46 an, wo bei der

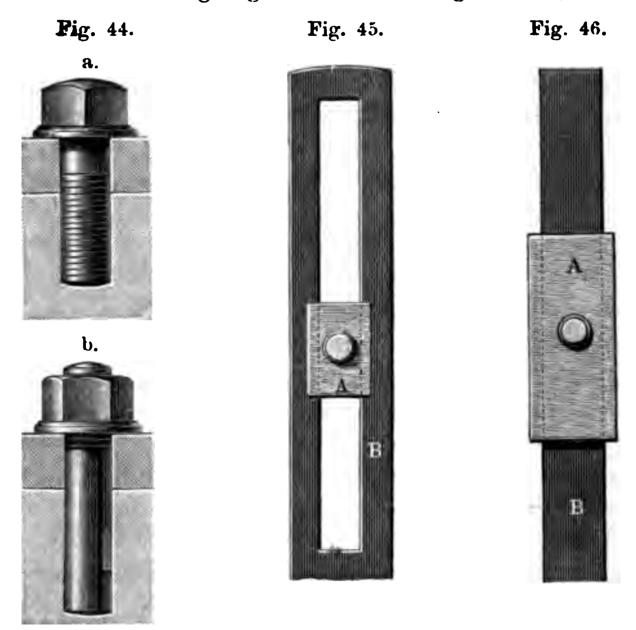


Fig. 44. Fig. 45. Fig. 46.

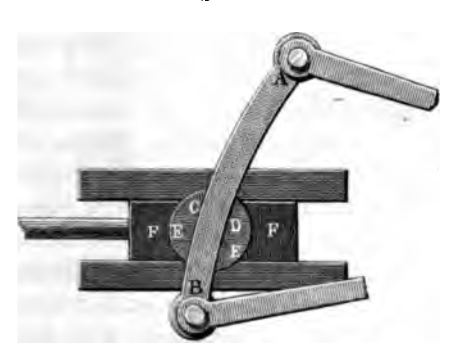
ersteren ein Vollprisma A in einem prismatischen Rahmen B, also einem Hohlprisma, gleitet, bei der anderen ein Hohlprisma A auf einer geraden Stange B hin- und hergeschoben wird.

Die bewusste und geläufige Verwerthung dieser Umkehrbarkeit der Elemente in den Umschlusspaaren kann dem Konstruirenden in vielen Fällen von ausserordentlichem Nutzen sein; sein Gedankengang durchläuft bei dem Anwenden eines solchen Paares sofort die Möglichkeiten, entweder das eine oder das andere Element als Hohlkörper auszuführen, oder jedes derselben theilweise mit äusserer, theilweise mit innerer Berührung des Partners auszuführen. Auch hebt die Erkenntniss der Umkehrbarkeit bisweilen Unterschiede zwischen Konstruktionen auf, welche dem äusseren Scheine nach mehr oder weniger weit auseinanderliegen, oder gibt wenigstens dem vorhandenen dunkeln Gefühl für die Zusammengehörigkeit den einfachen Ausdruck dessen, was geschehen ist. Hier ist u. a. zu erwähnen die neuerdings häufig vorkommende Vertauschung des Dampfcylinders mit dem Dampfkolben, welche z. B. den Condie'schen Dampfhammer vom Nasmyth'schen unter-

scheidet. Es ist die Umkehrung eines Prismenpaares, was hier der Konstruirende vorgenommen hat, während im übrigen die Funktionen der Mechanismen dieselben geblieben sind; die Kanäle, welche den Dampf einführen, waren nicht so bequem anzubringen; sie sind aber nach wie vor alle drei angebracht; der Schieber musste der Bequemlichkeit wegen anders gelegt werden; er ist aber derselbe wie früher. Als anderes Beispiel citire ich noch den Schleifbogen von Humphry-Tennant, Fig. 47, oder richtiger von Nasmyth*) gegenüber dem älteren und gebräuchlicheren von Stephenson, Fig. 48. Hier haben zwei Paar-Umkehrungen



Fig. 47. Fig. 48.





stattgefunden. Zunächst ist der Schleifbogen AB bei Humphry eine Umkehrung des hohlen Schleifbogens $A_1 B_1$ bei Stephenson; dafür musste zunächst das mit dem Bogen gepaarte Element, die Pfanne $C_1 D_1$ in einen nach Bogen AB ausgehöhlten Block CD übergeführt werden. Dann aber hat Nasmyth auch noch den die Pfanne quer durchsetzenden Zapfen F_1 in eine cylindrische Hülse FF verkehrt, und dem entsprechend die cylindrische Ausbohrung E_1 Stephensons in einen convexen Cylinderabschnitt EE umgekehrt, und ihn ausserdem soviel erweitert, dass der Schleifbogen quer durch den Zapfen geführt werden konnte. Kinematisch sind aber die Stücke CDE und $C_1 D_1 E_1$ völlig identisch, indem sie beide als Elementenformen einen Schleifbogen (Rotationskörperabschnitt) und einen zu demselben normal stehenden Cylinder enthalten.

*) Vergl. Pr. Mech. Journal 1862 bis 1863, S. 232.

Konstruktiv gewähren solche Umkehrungen mitunter grosse Vortheile, und sind deshalb für den Entwerfenden nichts weniger als gleichgültig. Vor der Kinematik indessen bilden sie nur Paradigmen zu einem einfachen Grundsatze, welcher, wie wir gesehen haben, den einfachsten Elementenpaaren allgemein und *a priori* zukommt.

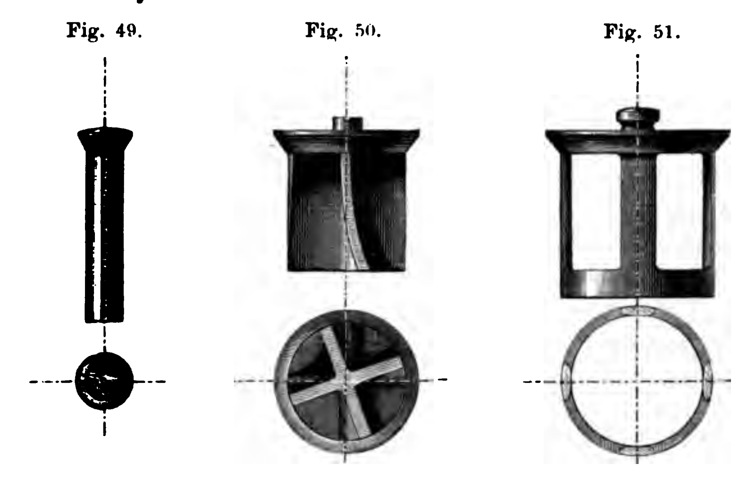
§. 17.

Nothwendige und zureichende Stützung der Elemente.

Als wir im Laufe der obigen Betrachtungen bei den Umschlusspaaren auf die Körperformen Schraube, Drehkörper, Prisma stiessen, und das Aufeinanderwirken der zusammengehörigen Hohl- und Vollformen näher untersuchten, liessen wir unerörtert, dass die einander decken sollenden geometrischen Gebilde in den beispielsweise herangezogenen Fällen nicht immer gleich gross, gleich ausgedehnt waren. Wir fanden und finden aber fast immer in der Praxis die Schraubenmutter weit kürzer als die zugehörige Schraubenspindel gemacht, einen prismatischen Schieber kürzer als seine Gleitbahn ausgeführt; man lässt bei den Zapfenlagern Fugen zwischen den Halbschalen stehen, und arbeitet in letztere sehr häufig Oelrinnen hinein, wobei man also die entsprechenden Theile der Umschlussfigur weglässt.

Dieses Verfahren findet man im praktischen Maschinenwesen so vernünftig und natürlich, indem man ja zugleich die stehengelassenen Flächentheile von genügender Ausdehnung belässt, dass man sich die Frage, wie weit man auf diesem Wege gehen könne, meistens gar nicht vorlegt. Bei Konstruktionen, welche grossen Kräften ausgesetzt sind, hält allerdings die Rücksicht auf die Abnutzung den sorgfältigen Konstrukteur ab, die berührenden Flächentheile unter jedes Maass zu verkleinern; aber hierbei handelt es sich um das Gesammtmaass der Berührungsflächen, nicht um deren Vertheilung um den ausgedehnteren Körper herum. Sind die belastenden Kräfte klein, so wird die Rücksicht auf die Abnutzung leicht ziemlich von selbst erfüllt; immer aber wird stillschweigend bei noch so weitgehendem Verkleinern der zusammenfallenden Flächen darauf geachtet; dass die Reste stets noch ausreichen, die beabsichtigte Erzwingung der gegenseitigen Lage der

gepaarten Elemente zu sichern. Eines unter vielen Beispielen liefern die Kegelventile. In den folgenden drei Figuren ist der von einem cylindrischen Rohr umschlossen zu denkende Ventilstiel


Fig. 49. Fig. 50. Fig. 51.

dem Durchlass des Wassers zuliebe in eine vom Vollcylinder sich mehr und mehr entfernende Form gebracht. Am Ventil sind schmale Vollcylinderstreifchen in solcher Anordnung stehen gelassen, dass man in keinem der drei Fälle, genügend genaue Herstellung vorausgesetzt, den Stiel so bewegen könnte, dass seine Achse sich von derjenigen des Hohlcylinders entfernte. Das erstemal sind drei schmale Cylinderstreifchen stehen zu lassen, das zweitemal vier schraubenförmige Streifen; beim dritten Beispiel sind vier der Achse parallele Cylinderstücke stehen gelassen, welche durch einen niedrigen Cylinderabschnitt verbunden sind. Offenbar liegt etwas allgemein Gesetzmässiges in der Anordnung der kleinen Flächentheilchen, Streifchen oder Punkte, welche nothwendig von der Cylinderumfläche erhalten bleiben müssen, wenn dieselben die Aufgabe, die gegenseitige Lage der beiden Körper zu erhalten, oder die Körper gegenseitig zu stützen, erfüllen sollen. Eine gewisse Anzahl solcher Stützpunkte wird nothwendig sein, aber auch zureichend sein können, um die Stützung zu bewirken. Dieses Minimum der Stützpunkte wollen wir aufsuchen. Man hat bisher auf diese Untersuchung keinen besonderen Werth gelegt. Zweifellos verdient sie aber, ins Auge gefasst zu werden. Einmal weil, wenn wir zu einer wissenschaftlichen Begründung des Maschinenwesens gelangen wollen, keine Eigen-

schaft der Elemente unwichtig sein kann, sodann aber auch, weil sich wirklich wesentliche Folgerungen an gerade dieses Problem anschliessen.

§. 18.

Stützung gegen Verschiebung.

Wir betrachten zuerst die ebene Figur in der Ebene, oder, wenn man will, einen von einem allgemeinen normalen Cylinder genommenen dünnen ebenen Abschnitt, welcher irgendwie gehindert sein soll, sich von der Ebene, auf welcher er liegt, zu entfernen. Unter einem Stützpunkt der Figur verstehen wir einen Umfangspunkt derselben, an welchem sie in der Richtung der Normalen auf die an den Umfangspunkt gelegte Tangente in der Richtung zum Punkte hin nicht verschoben werden kann. Verschiebung der Figur bedeutet hierbei eine gleichartige Bewegung aller Punkte derselben.

Einzelner Stützpunkt. Die gegebene Figur A, Fig. 52, werde zunächst durch Berührung in einem Punkte mit einer zweiten mit ihr komplanen Figur B gehindert, sich frei in der Ebene zu bewegen; wir wollen aufsuchen, wie weit diese Hinderung geht.

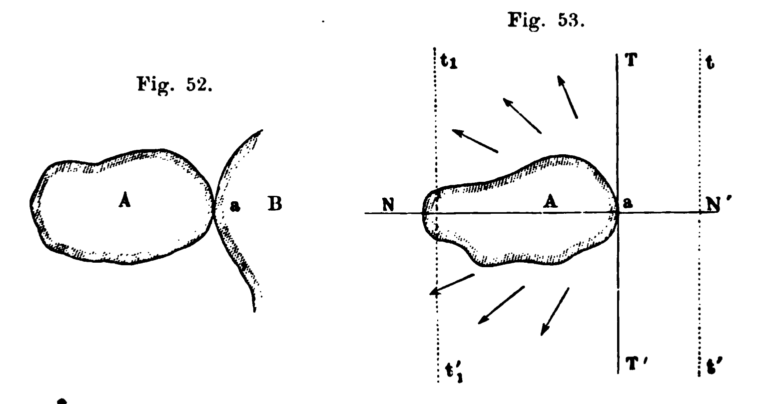


Fig. 52. Fig. 53.

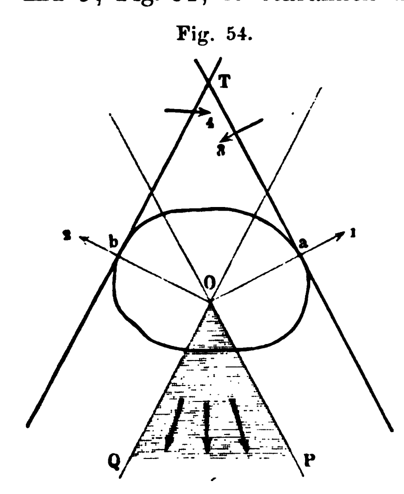
Wegen der vorhin gegebenen Erläuterung der Natur eines Stützpunktes brauchen wir vorerst die Gestalt der stützenden Figur B, Fig. 52, nicht zu kennen, legen vielmehr an die gestützte Figur A, Fig. 53, im Stützpunkt a eine Tangente TT', und errichten auf dieser in a die Normale NN', so ist die Richtung von A nach a

und N' hin diejenige der von dem Stützpunkt unmöglich gemachten Verschiebung.

Hat eine beabsichtigte Verschiebung also eine Komponente in dieser Richtung, so ist die Verschiebung nicht möglich. Solche Komponenten haben aber allein nicht diejenigen Verschiebungen, deren Richtungen in den gestreckten Winkel TNT' fallen, wie durch die strahlenförmig geordneten Pfeile angedeutet ist. Dieser Doppelrechtwinkel ist also das Verschiebungsfeld für die nur in a gestützte Figur, während die zu TT' normale $N'a$ die Stützrichtung des Punktes a ist. In den zweiten Doppelrechten $TN'T'$ fallen alle die Richtungen der durch den Stützpunkt a ausgeschlossenen Verschiebungen; wir wollen ihn deshalb das Stützungsfeld des Punktes a nennen. Stützungsfeld und Verschiebungsfeld eines Stützpunktes ergänzen sich zu 4 Rechten. Getrennt werden die beiden Felder durch die Tangente TT' im Stützpunkt. Indessen können wir diese Trennungslinie auch verlegen, wenn wir sie nur parallel TT' lassen; denn es handelt sich immer nur um Winkel oder Richtungen. Deshalb kann die zu TT' parallel tt' oder die andere $t_1 t_1'$ ebenfalls als Grenze zwischen Stützungs- und Verschiebungsfeld dienen. Im allgemeinen ist demnach die Trennungslinie zwischen Stützungs- und Verschiebungsfeld eines Stützungspunktes eine Normale zur Stützrichtung.

Zwei Stützpunkte. Hat die Figur zwei Stützpunkte a und b, Fig. 54, so schränken diese die Verschiebbarkeit ein auf den Winkel, welchen die beiden Stütztangenten aT und bT einschliessen, da alle Verschiebungsrichtungen, welche ausserhalb dieses Winkels fallen, wie z. B. 3 und 4, eine Komponente parallel einer der beiden Stützrichtungen 1 und 2 haben würden. Verlegt man für die beiden einzelnen Stützpunkte die Trennungslinie zwischen Stützungs- und Verschiebungsfeld bis zum Schnittpunkt O der beiden Stütznormalen, so ist der von ihnen eingeschlossene — hier schraffirte — Winkel POQ das Verschiebungsfeld, der

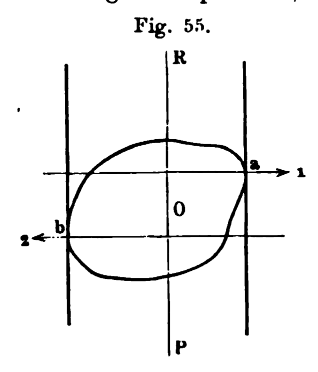
Fig. 54.



ausspringende Winkel QOP das **Stützungsfeld** für den vorliegenden Fall. Fiele die Richtung einer beabsichtigten Schiebung in den Scheitelwinkel zu POQ, so würden beide Stützpunkte gleichzeitig die Schiebung hindern.

Durch Verminderung des Tangentenwinkels aTb kann man das Schiebungsfeld mehr und mehr verkleinern. Werden die Stütztangenten parallel, Fig 55, so geht das Schiebungsfeld in einen unendlich kleinen Winkel über. Aber ebenso wie oben den Grenzlinien OP und OQ nach noch Schiebung stattfinden konnte, kann sie auch jetzt den zusammengefallenen Grenzlinien nach, d. h. parallel den beiden Tangenten vor sich gehen, und zwar sowohl in der Richtung OP, als auch den Grenzlinien des ebenfalls unendlich klein gewordenen Scheitelwinkels OR nach. Mit anderen Worten: das Verschiebungsfeld ist in eine Parallele zu den Stütztangenten übergegangen, welcher entlang sowohl in positiver als in negativer Richtung Verschiebung stattfinden kann.

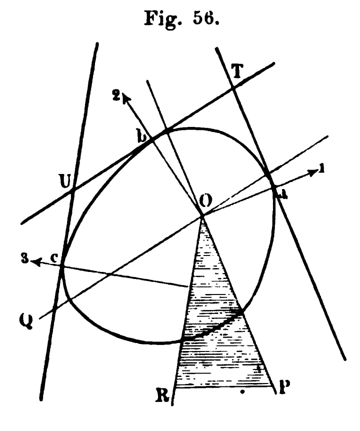
Fig. 55.



Hätten die parallelen Stützrichtungen 1 und 2 nicht wie hier entgegengesetzten, sondern gleichen Sinn, so würde die entstehende Stützung sich von derjenigen durch nur **einen** Punkt, so weit es die Schiebung betrifft, nicht unterscheiden, weshalb auf diesen Fall hier nicht weiter eingegangen zu werden braucht.

Drei Stützpunkte. Wenn zu zwei Stützpunkten a und b, deren Wirkung wie vorhin untersucht worden ist, noch ein dritter c hinzukommt, Fig. 56, so kann dessen Einfluss leicht ermittelt werden. Wir ziehen die Tangente cU und die durch c gehende Normale, und legen auf dieser die Trennungslinie OR, welche das Schiebungs- und das Stützungsfeld scheidet, so, dass sie durch den Schnittpunkt O der beiden ersten Normalen geht. Dann zeigt die Figur sofort, dass nunmehr die Schiebungen in dem

Fig. 56.



Winkel QOR unmöglich geworden sind, dass also das Verschiebungsfeld auf den Winkel POR verkleinert ist. Hierin ist aber alsbald ein Mittel zu erblicken, durch drei Stützpunkte die Verschiebbarkeit der Figur ganz zu beseitigen. Denn da das Stützungsfeld jedes einzelnen Stützpunktes 180 Grad umfasst, braucht man den dritten Stützpunkt nur so zu legen, dass das von den beiden ersten freigelassene Verschiebungsfeld in das Stützungsfeld des dritten hineinfällt. Fig. 57 stellt diesen Fall dar. Der dritte Stützpunkt c ist so gelegt, dass in sein Stützungsfeld, welches die Linie RO abtrennt, das Schiebungsfeld POQ der vereinigten Stützpunkte a und b ganz hineinfällt. Die Bedingung für die Erreichung dieses Zieles können wir dahin präzisiren, dass die drei Stützpunkte so gelegen sein müssen, dass die benachbarten Stützrichtungen stets Winkel unter 180° einschliessen. In unserer Figur ist das den Stützpunkten 1 und 2 entsprechende Schiebungsfeld nochmals durch Schraffirung hervorgehoben, diese aber, um die Schiebbarkeit als aufgehoben zu bezeichnen, punktirt. Heben wir die Darstellungen der drei Stützungsrichtungen aus Fig. 56 und 57 heraus, siehe Fig. 58 und 59, so sehen wir, dass im ersteren Falle

Fig. 57.

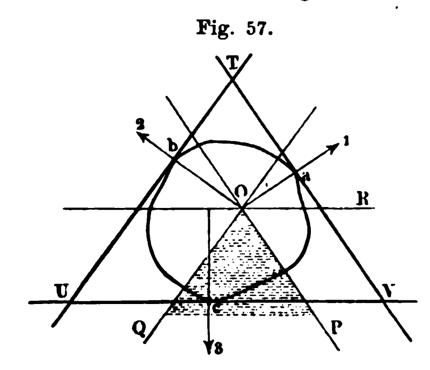
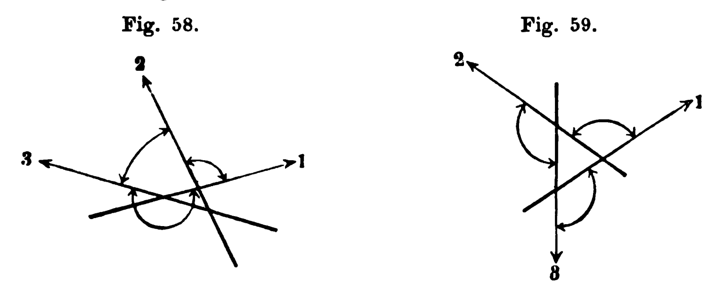


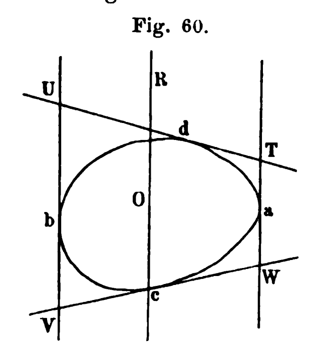
Fig. 58. Fig. 59.



zwischen 1 und 2 und zwischen 2 und 3 einspringende Winkel liegen, die Richtungen 1 und 3 aber einen ausspringenden Winkel einschliessen, während im zweiten Falle alle drei Winkel zwischen den aufeinander folgenden Richtungen $< 180°$ sind.

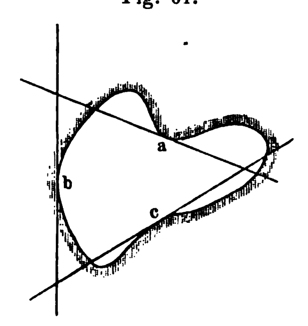
Für den Fall, dass die beiden ersten Stützrichtungen parallel und entgegengesetzt sind, Fig. 60, genügt aber hiernach der dritte Stützpunkt *c* nicht, um jede Verschiebung unmöglich zu machen; es muss vielmehr dann jedenfalls noch ein vierter *d* angebracht werden. Denn die Verschiebungsrichtungen *Oc* und *OR*, welche den Tangenten *TW* und *VU* parallel laufen, sind ebenso wie die Stützrichtungen von *a* und *b* um 180° verschieden. Es bedarf also der Einschaltung je eines Stützpunktes zwischen *V* und *W* und zwischen *T* und *U*, damit die Bedingung, dass die benachbarten Stützrichtungen kleinere Winkel als 180° einschliessen, erfüllt werde. Die Stützrichtungen von *c* und *d* können dabei unter Umständen auch selbst wieder 180° einschliessen, ihre Stütztangenten also parallel zu liegen kommen.

Fig. 60.



Das Minimum der Stützpunkte, welche eine ebene Figur unverschieblich machen können, ist somit drei, und wenn die Stützrichtungen zweier derselben 180° einschliessen, vier Stützpunkte. In den zu Anfang des §. 17 vorgeführten Beispielen aus der Konstruktion der Kegelventile sind in den Querschnitten der Ventilstiele einmal drei und zweimal je vier Stützpunkte angewandt, beziehungsweise durch kleine Umfangstheile dargestellt. Man erinnere sich auch der gebräuchlichen Formen der Gewindbohrer. Jede ebene Figur, welche durch einen in sich selbst zurücklaufenden Umriss begrenzt ist, lässt sich gegen Verschiebung stützen. Es ist dabei gleichgültig, ob die Figur von aussen, wie oben angenommen wurde, oder von innen gestützt werde, wie Fig. 61 andeutet, da die gefundenen Bedingungen diesen Fall mit einschliessen. Uebrigens zeigen dies die obigen Untersuchungen auch noch in anderer Weise, indem die zweite Figur (*B*), welche die Stützpunkte für die erste (*A*) an sich trägt, eine Hohlfigur sein muss, wenn die erste auswärts profilirt ist, die stützende Wirkung der beiden Figuren aber durchaus auf Gegenseitigkeit beruht, ganz so wie wir es bei den Elementen, die ein Paar bilden, gefunden haben.

Fig. 61.



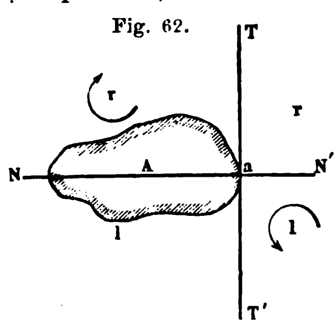
§. 19.

Stützung gegen Verdrehung.

Auch hier betrachten wir vorerst nur die ebene Figur in der Ebene, und verstehen unter Verdrehung eine solche Bewegung der Figur, bei welcher ein mit ihr festverbundener Punkt dauernd oder auch nur augenblicklich seine Lage in der Ebene nicht ändert. Es sind zwei Drehungssinne zu unterscheiden. Wir wollen eine Drehung, welche wie diejenige des Uhrzeigers geschieht, Rechtsdrehung, eine entgegengesetzt gerichtete Linksdrehung nennen.

Einzelner Stützpunkt. Hat die Figur A, Fig. 62, nur einen Stützpunkt a, und sind TT' und NN' wieder Tangente und Normale zu der Umfangsstelle a, so kann die Figur um jeden beliebigen Punkt des Quadranten NaT rechts gedreht werden, ebenso um jeden Punkt des Quadranten TaN', während Linksdrehung in beiden Quadranten nicht angeht, da die bei a alsdann hervorzurufende Bewegung eine Komponente in der Stützrichtung haben würde. Im dritten Quadranten $N'aT'$ und im vierten $T'aN$ ist Linksdrehung um jeden Punkt möglich, Rechtsdrehung aber nicht, weil der Stützpunkt dieselbe aufhebt. Die möglichen Drehungen sind zu beiden Seiten der Normalen NN' durch die Buchstaben r und l markirt. Das ganze Feld $NTN'T'$ ist also Drehungsfeld, es wird durch die Normale $N'N$ in die Hälften Rechtsdrehungsfeld und Linksdrehungsfeld getheilt. Auf der Normalen selbst müssen Pole liegen, welche beiderseitige Drehungen gestatten, da sie als Grenzlinie beiden Feldhälften zugleich angehört. In der That sind um alle Punkte von aN... beiderseitige, und zwar angebbar grosse Drehungen möglich, um die Punkte von aN'... dagegen nur unendlich kleine Drehungen. Denn bei jeder um einen der letzteren Punkte begonnenen Drehung hat sich die Normale vom Drehpunkt entfernt, so dass derselbe alsbald entweder ins Links- oder ins Rechtsdrehungsfeld, jedesmal aber in dasjenige rückt, welches die begonnene Drehung nicht gestattet, wie ein Blick auf die Figur lehrt.

Fig. 62.



Zwei Stützpunkte. Besitzt die Figur zwei Stützpunkte a und b, Fig. 63, und hat man deren Drehungsfelder einzeln durch Ziehung der Normalen $a\,a'$ und $b\,b'$ eingetheilt, so ergibt sich sofort, dass das Rechtsdrehungsfeld von a in dem Winkel $a\,O\,b$ zwischen den Normalen von dem Linksdrehungsfelde von b gedeckt wird, wodurch die dort wegen a statthaft gewesene Rechtsdrehung unausführbar wird, ebenso wie die wegen a mögliche Linksdrehung in dem Scheitelwinkel $a'O\,b'$ unmöglich wird, weil dort ein Rechts- und ein Linksdrehungsfeld einander decken. In dem Winkel $b\,O\,a'$ dagegen decken sich zwei Rechtsdrehungs-, und im Scheitelwinkel $a\,O\,b'$ zwei Linksdrehungsfelder. Es sind mithin um die Punkte dieser in unserer Figur schraffirten Felder beziehungsweise Rechts- und Linksdrehungen möglich. Von den zwei Paar Scheitelwinkeln, welche die Normalen abschneiden, ist also das eine, dem Schnittpunkt T der Tangenten zugekehrte Paar Stützungsfeld gegen beiderlei Drehung, das andere Paar aber Drehungsfeld, und zwar zur einen Hälfte Rechts-, zur anderen Linksdrehungsfeld. Um den Scheitel O, welcher den beiden Drehungsfeldern gemeinsam ist, kann beiderseitige Drehung stattfinden. Sind die Normalen zu den gegebenen Stützpunkten parallel und einander entgegengesetzt, also um 180° gegeneinander gerichtet, so geht das scheitelwinklige Drehungsfeld in einen Streifen zwischen den Stütznormalen über, um dessen Punkte entweder Rechtsdrehung, Fig. 64, oder Linksdrehung, Fig 65,

Fig. 63.

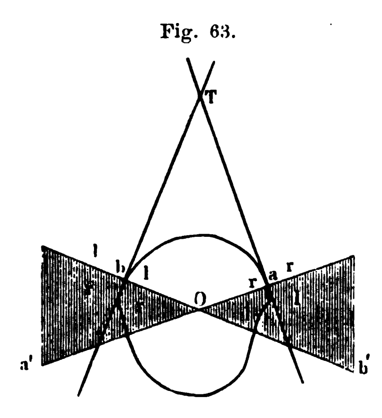
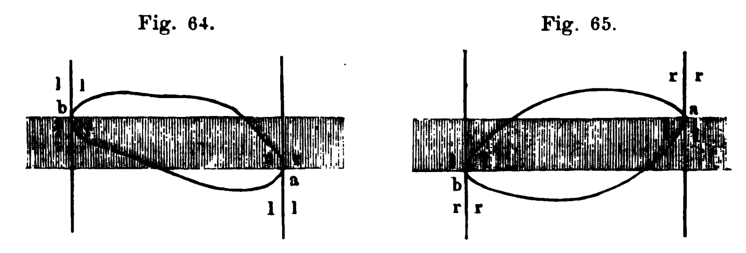


Fig. 64. Fig. 65.



möglich ist, jenachdem sich die Normalen die rechte oder die linke Seite zukehren. Fallen die Stütznormalen zusammen, so

geht der Streifen in eine Linie über, Fig. 66, und deren Punkte als auf der Grenze zwischen verschiedensinnigen Drehungsfeldern liegend, Drehung nach links wie nach rechts möglich ist.

Fig. 66.

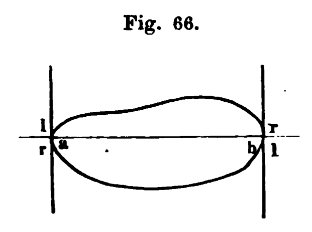
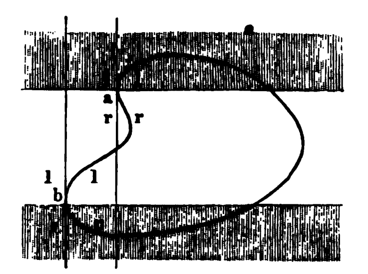


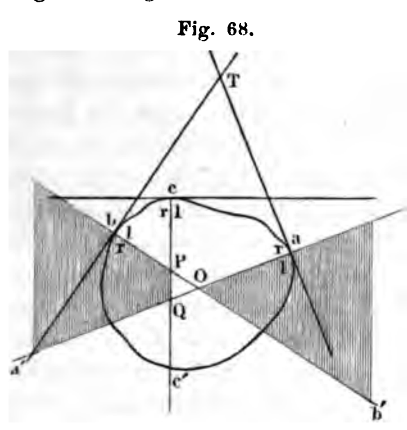
Fig. 67.



Haben die parallelen Stütznormalen gleiche Richtung, Fig. 67, so ist der Raum ausserhalb des von den Normalen begrenzten Streifens einerseits Rechtsdrehungs-, andererseits Linksdrehungsfeld, der Streifen aber Stützungsfeld.

Drei Stützpunkte. Wird zu zwei Stützpunkten a und b, deren Tangenten einen Winkel unter 180° einschliessen, ein dritter Stützpunkt c hinzugenommen, so hängt dessen Einfluss auf die weitere Einschränkung der Drehbarkeit sehr von der Wahl seiner Lage ab. Legt man c an den von dem Tangentenwinkel $a\,T\,b$, Fig. 68, umfassten Bogen der Figur, so schneidet zunächst seine Stütznormale die beiden vorhandenen in den Punkten P und Q, und es deckt sein Linksdrehungsfeld den Linksdrehungswinkel $a\,O\,b'$; dieser bleibt also Linksdrehungsfeld. Ferner deckt das Rechtsdrehungsfeld von c das Stück $b\,P\,Q\,a'$ des Rechtsdrehungswinkels $b\,O\,a'$, welches demnach auch Rechtsdrehungsfeld bleibt. Nur das kleine Dreieck POQ wird von einem ungleichnamigen Felde gedeckt; hier allein wird also die Drehbarkeit aufgehoben.

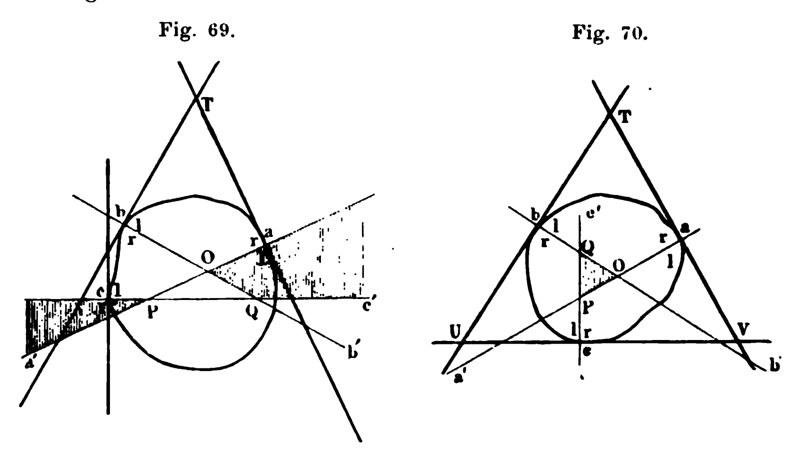
Fig. 68.



Verlegt man c so, dass seine Stütznormale durch beide Theile

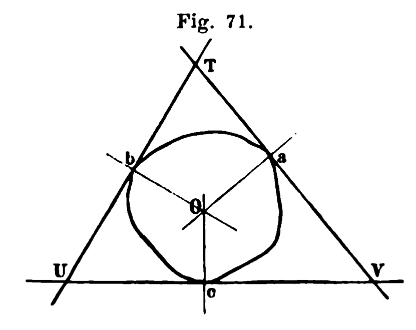
des Drehungsfeldes von a und b geht, s. Fig. 69, so fällt zunächst das Normalendreieck POQ in das Stützungsfeld, statt in das Drehungsfeld der ersten beiden Stützpunkte. Ungleichnamige Deckungen finden nun statt auf den Stücken $cPOb$ und $c'Qb'$; von beiden Theilen des Drehungsfeldes bleiben die ansehnlichen Stücke $c'Pa'$ und $c'QOa'$ als beziehungsweise Rechts- und Linksdrehungsfelder erhalten.

Fig. 69. Fig. 70.



Weit bedeutender fällt die Wirkung des dritten Stützpunktes aus, wenn er so verlegt wird, dass die Winkel seiner Stütznormale mit den beiden benachbarten < 180° ausfallen, siehe Fig. 70. Geht dann, wie hier, die Stütznormale von c durch das Rechtsdrehungsfeld der beiden ersten Stützpunkte, so deckt ihr Rechtsdrehungsfeld ganz das Linksdrehungsfeld aOb', und ihr Linksdrehungsfeld das Stück $a'PQb$ des Rechtsdrehungsfeldes $a'Ob$, so dass auf beiden Stellen die Drehbarkeit beseitigt wird. Nur das Dreieck POQ wird von einem gleichnamigen Drehungsfelde gedeckt, so dass also um die Punkte dieses Dreieckes Drehung, und zwar Rechtsdrehung möglich bleibt. Hätte die Anbringung von c so stattgefunden, dass seine Stütznormale durch das Linksdrehungsfeld $a\,O\,b'$ gegangen, so wäre das übrig gebliebene Dreieck eines für Linksdrehung gewesen.

Fig. 71.



Leicht erscheint es jetzt, die Drehbarkeit noch mehr einzuschränken. Man braucht zu dem Ende bloss das Dreieck *POQ* kleiner zu machen. Dasselbe schrumpft auf sein Minimum, einen einzigen Punkt, zusammen, wenn man den Stützpunkt *c* so verlegt, dass seine Stütznormale durch den Schnittpunkt *O* der beiden ersten Stütznormalen geht, siehe Fig. 71. Dann ist die Drehbarkeit auf das erreichbare Minimum eingeschränkt, allein sie bleibt immerhin noch bestehen.

Wenn die beiden ersten Stützpunkte parallel laufende Normalen haben, so entstehen wieder bemerkenswerthe besondere Fälle.

Haben die parallelen Stütznormalen zu *a* und *b* entgegengesetzte Richtung, Fig. 72, so theilt die Normale zu dem dritten, zwischen den beiden ersten Stützpunkten angebrachten Stützpunkte *c* das Drehungsfeld in zwei Stücke, von welchen das eine wegen

Fig. 72.

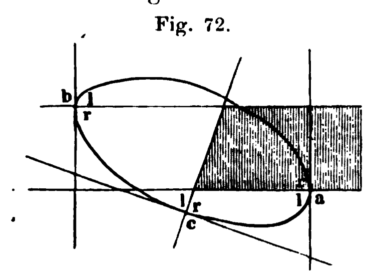
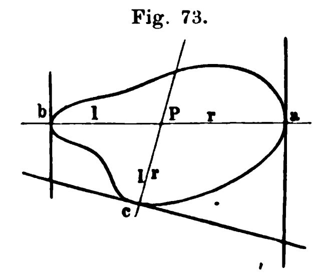
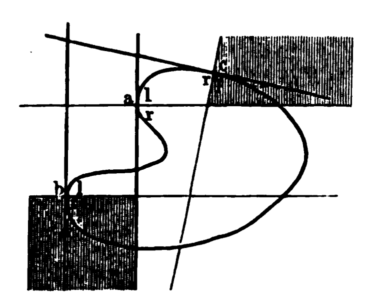


Fig. 73.



gleichnamiger Deckung ein Drehungsfeld bleibt, das andere aber, da hier die Deckung ungleichnamig wird, mit zum Stützungsfeld gezogen wird. War das Drehungsfeld der beiden ersten Stützpunkte wegen Zusammenfallens der Normalen nur eine Linie, Fig. 73, um deren Punkte, wie wir oben bei Fig. 66 sahen, Links- wie Rechtsdrehung stattfinden konnte, so theilt die Normale aus *c*, die besagte Linie in *P* schneidend, dieselbe in ein Stück *Pa* ..., um dessen Punkte nur Rechtsdrehung, und in das andere *Pb* ..., um dessen Punkte nur Linksdrehung möglich ist.

Fig. 74.



Sind die Normalen der beiden ersten Stützpunkte parallel und gleich gerichtet, siehe Fig. 74,

so kann der dritte Stützpunkt von jedem der beiden ausserhalb der Stütznormalen liegenden Drehungsfelder ein Stück in ein Stützungsfeld verwandeln, wie unsere Figur andeutet, oder er kann, wenn man die dritte Stützung parallel und entgegen den beiden ersten richtet, das eine der beiden Drehungsfelder ganz beseitigen, siehe Fig. 75, wobei das noch bleibende Feld auf einen

Fig. 75.

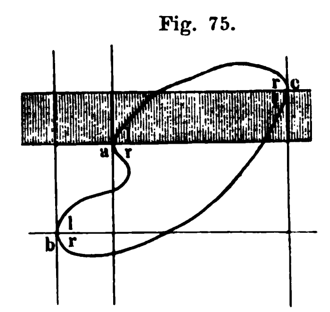
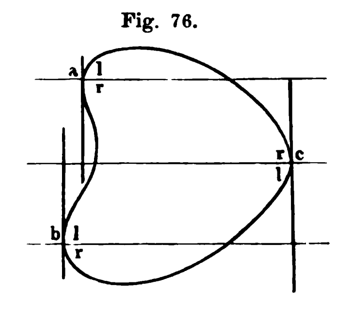


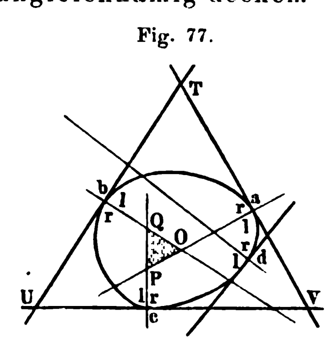
Fig. 76.



schmalen Streifen eingeschränkt wird, oder endlich er kann, indem man seine Stütznormale zwischen die beiden ersten verlegt, und sie denselben entgegen richtet, die beiden anfänglichen Drehungsfelder, welche nun beide ungleichnamig gedeckt werden, in Stützungsfelder verwandeln, die Drehbarkeit also ganz aufheben.

Vier und fünf Stützpunkte. In den Fällen, wo durch drei Stützpunkte die Drehbarkeit nicht aufgehoben werden kann — und wir haben gesehen, dass dies die Regel ist — kann man durch Hinzufügung eines vierten Stützpunktes zu diesem Ziele gelangen, wenn derselbe sich so verlegen lässt, dass seine Drehungsfelder die noch vorhandenen der ersten drei Stützpunkte ungleichnamig decken. Fügt man z. B. zu der in Fig. 70 dargestellten Stützung noch einen weiteren Stützpunkt *d* hinzu, dessen Normale nicht durch das Drehungsfeld *OPQ* geht, und ausserdem demselben die ungleichnamige Seite zukehrt, Fig. 77, so ist jede Drehbarkeit der Figur beseitigt. Bei dem Falle in Fig. 72 verwandelt ein vierter Stützpunkt *d*, welcher mit seinem Linksdrehungsfelde das dort gebliebene Rechtsdrehungsfeld

Fig. 77.



deckt, Fig. 78, letzteres in ein Stützungsfeld. In den in den Figuren 74 und 75 dargestellten Fällen lässt sich dies ebenfalls bewirken.

Fig. 78.

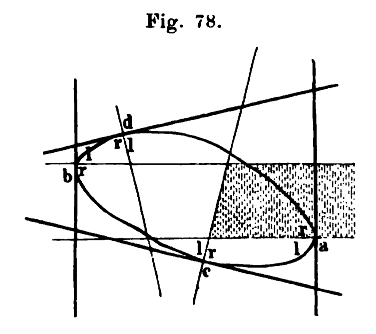
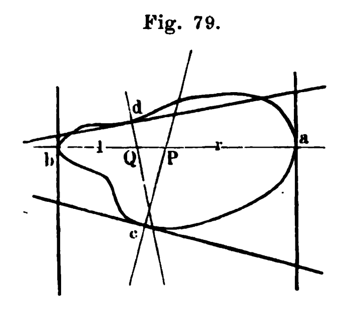
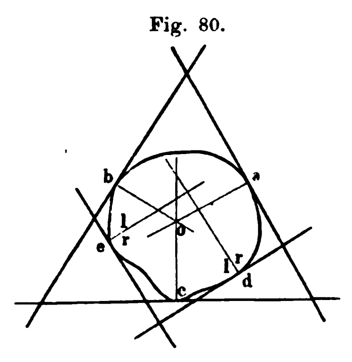


Fig. 79.



Bei dem Fall in Fig. 73 dagegen gelangt man auf diese Weise nicht zum Ziel. Denn legt man den vierten Stützpunkt *d*, Fig. 79, so, dass seine Normale an *P* vorübergeht, und zur Linken ihr Rechtsdrehungs-, zur Rechten ihr Linksdrehungsfeld hat, so werden das Stück *Qb*... und das Stück *Pa*... des auf eine Linie zusammengeschrumpften Drehungsfeldes ungleichnamig gedeckt, also dort die Drehbarkeit beseitigt; allein das Stück *OP* bleibt, da es gleichnamig gedeckt ist, noch Linksdrehungslinie. Man wird, um *OP* verschwinden zu machen, *d* so verlegen müssen, dass die Normale durch *P* selbst geht. Dann also werden alle Drehbarkeiten um die Punkte von *Pa*.. und *Pb*.. beseitigt, bis auf die einzige um den Punkt *P* selbst. Dieser als auf den Grenzlinien aller Drehungsfelder gleichzeitig liegend oder als Schnittpunkt sämmtlicher Normalen ist Drehpunkt geblieben. Um auch diese Drehbarkeit wegzuschaffen, muss noch ein fünfter Stützpunkt zu dem in Fig. 79 angedeuteten hinzugenommen werden, welcher, Fig. 80, das gebliebene Drehungsfeld *PQ* ungleichnamig deckt. Hätte der vierte Stützpunkt so gelegen, dass *Q* mit *P* zusammengefallen wäre, so würden noch zwei weitere Stützpunkte nöthig gewesen sein, nämlich einer gegen die Links-, einer gegen die Rechtsdrehung.

Fig. 80.

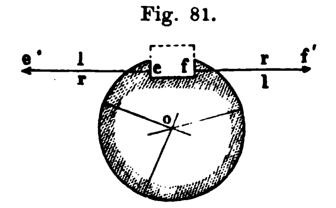


Dasselbe gilt auch schon von dem Falle in Fig. 71, wo die Normalen dreier Stützpunkte sich in einem Punkte schneiden, denn auch hier bedarf es einer Stützung zur Verhinderung der Rechts-, und einer zur Verhinderung der Linksdrehung, etwa wie Fig. 80 darstellt. Dieser und der vorige Fall können zusammengefasst werden in den Satz: Wenn die Normalen dreier Stützpunkte einer Figur einander in einem Punkte schneiden, so bedarf es mindestens fünf Stützpunkte, um die Figur undrehbar zu machen.

Wie man sieht, ist die Aufgabe, eine ebene Figur so zu stützen, dass sie undrehbar wird, ungleich schwieriger, als die, sie nur bis zur Unverschiebbarkeit zu stützen. In der Regel bedarf es mindestens vier Stützpunkte, in einem Ausnahmefalle (Fig. 76) genügen ihrer drei, vielfach reicht man erst mit fünfen aus. Ausserdem ist die Form der Figur nicht in so weiten Grenzen beliebig, wie sie sich beim Verschiebungsproblem herausstellte. Das Profil der Figur muss solche wechselnde Tangentenrichtungen auch an sich tragen, als das Rechts- und Linksverlegen der Stütznormalen erfordert. Der Kreis also ist — wie allerdings auch *a priori* einleuchtet — nicht gegen Verdrehung stützbar. Kommt er uns im praktischen Maschinenbau, wo seine leichte Herstellung so oft auf ihn führt, als Querschnitt eines gegen Verdrehung zu stützenden Körpers vor, so müssen wir seine Form nachträglich zu der einer stützbaren Figur umändern. Schon oben (§. 15) stiessen wir bei einer anderen Betrachtung auf diesen Punkt, den wir hier im Lichte der vorstehenden Untersuchungen prüfen können.

Ein recht landläufiges Beispiel liefert uns die Befestigung einer Radnabe auf einer cylindrischen Achse, Fig. 81. Hier würden sich bei Belassung der ersten Form alle Normalen im Zentrum O schneiden. Es wird deshalb ein halb-rechteckiger Einschnitt in den Kreis gemacht, gegen dessen Flanken bei e und f sich ein mit der Nabe zu verbindender Vorsprung, der Keil, stützt. Die eine Stütznormale ee' geht nach links und deckt O mit ihrem Rechtsdrehungsfelde; die andere ff' geht nach rechts, O mit ihrem Linksdrehungsfelde deckend, ganz wie wirs oben bei Fig. 80 nöthig fanden. Auch durch blosse Abplattung wird oft der Kreis im selben Falle stützungsfähig gemacht, siehe Figur 82. Der Keil drückt dann

Fig. 81.



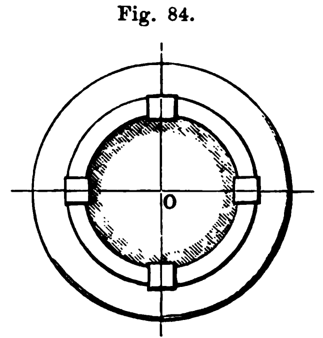
u. a. auch in der Nähe der Ränder der Abplattung, bei e und f, so dass die Stütznormalen $e\,e'$ und $f\,f'$ links und rechts neben O vorübergehen, und deshalb die eine O mit ihrem Linksdrehungsfelde, die andere O mit ihrem Rechtsdrehungsfelde deckt. Die Hebelarme der in der Richtung der Stütznormalen wirkenden Stützkräfte fallen hierbei leicht weit kleiner aus als im obigen Falle, weshalb es sich, nebenbei bemerkt, leicht begreift, warum man die zweite Form nur bei geringeren verdrehenden Kräften praktisch verwendet.

Fig. 82.

Bei grossen schweren Wasserrädern findet man oft die Naben mit drei, häufiger mit vier Keilen auf die Achse gesetzt, wobei beträchtliche Spielräume zwischen Hohl- und Vollcylinder belassen, diese selbst also nicht als Stützflächen behandelt werden, Fig. 83 u. 84.

Fig. 83.

Fig. 84.



Solche Befestigungen können eigentlich verdrehenden Kräften nur geringen Widerstand entgegensetzen, da die Stütznormalen der Keilflächen sehr wenig weit neben dem Schnittpunkt O der mittleren Stütznormalen herlaufen. Auch wendet man diese Aufkeilungsweisen mehr nur als Zentrirungsmethoden an, also als Stützungen gegen Quer-Verschiebbarkeit der Achse in der Nabe, wozu sie auch geeignet sind (vergl. Fig. 57 und 60). Wo aber gewaltige Torsionskräfte durch eine Nabe zu übertragen sind, wie z. B. bei den Zahnrädern der Walzwerke, wendet man gern die nachstehend skizzirte Keilung Fig. 85 (a. f. S.) an. Sie ist eine Stützung gegen Verschiebung sowohl, als gegen Verdrehung.

Streng genommen bedürfte es nur der fünf in Fig. 86 angegebenen Stützen, von denen a, b und c dem bei Fig. 76 besproche-

nen Falle angehören, *d* und *e* die Stützung gegen Verschiebung vervollständigen (vergl. Fig. 60). Aber die Anordnung Fig. 85

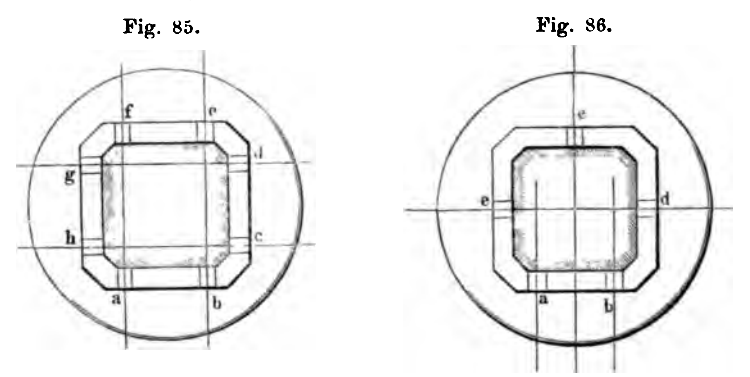


Fig. 85. Fig. 86.

ist ungleich besser, da sie den Torsionswiderstand auf vier statt auf zwei Stützen überträgt, und den Hebelarm desselben aufs Doppelte, die Belastung des Einzelkeils durch Torsion also auf den vierten Theil dessen bringt, was bei der anderen Anordnung herauskommt; ausserdem beansprucht sie auch die Nabe statt in der Mitte der Quadratseiten, in der Nähe von deren Ecken, was ungemein viel günstiger ist.

Im allgemeinen macht die Schwierigkeit der Torsionsstützung gegenüber der Verschiebungsstützung sich schon beim Vergleich der beiden ersten Sätze merkbar, und findet daselbst auch ihren Grund. Darin nämlich, dass ein Stützpunkt gegen Verschiebung alsbald ein Stützungsfeld von dem Umfang 180° besitzt, während ein Stützpunkt gegen Verdrehung im allgemeinen noch gar nicht stützt, vielmehr nur eine Zweitheilung des Drehungsfeldes in eine Rechtsdrehungs- und eine Linksdrehungshälfte bewirkt.

§. 20.

Gleichzeitige Stützung gegen Verschiebung und Verdrehung.

Wenden wir das vorstehend Gefundene nun auf die Fälle an, wo gleichzeitig Verschiebung und Verdrehung in Betracht kommen, so können wir daraus zunächst für die ebene Figur folgende Hauptsätze ziehen.

1) Durch zwei Stützpunkte kann weder Verschiebung noch Verdrehung einer ebenen Figur in der Ebene verhindert werden.
2) Durch drei passend gelegene Stützpunkte kann:
   a) die Schiebung verhindert, dann aber die Drehung nicht verhindert werden (Fig. 57, 70 und 71)
   b) die Drehung verhindert, dann aber die Schiebung nicht verhindert werden (Fig. 76).
3) Nur durch vier passend gelegene Stützpunkte, und bei gewissen Profilen nur durch fünf derselben lässt sich die Drehung gleichzeitig mit der Schiebung verhindern.

Diese Sätze wollen wir auf die Umschlusspaare anwenden.

Stützung im Prismenpaar. Soll ein Vollprisma durch möglichst wenig Punkte so gestützt werden, dass es keine andere Relativbewegung gegen die Stützen vollführen kann, als wenn es von einem Hohlprisma wie im Umschlusspaar umfasst wäre, so können wir das dadurch zu erreichen suchen, dass wir zwei parallele zur Achse senkrechte Ebenen durch den Körper gelegt denken, und deren Schnittfiguren gegen Verschiebung und Drehung, also beide mit je vier Punkten stützen, Fig. 87, indem dann um keine der Abscissenachsen Drehung und nur parallel einer einzigen Verschiebung stattfinden kann, was die Eigenthümlichkeit des Prismenpaares ist. Dies gäbe acht Stützpunkte a, b, c, d, e, f, g, h, in jedem der beiden Schnitte geordnet nach Fig 78. Von diesen acht Punkten lassen sich aber noch zwei beseitigen, indem wir einen dritten zu den beiden ersten parallelen Schnitt zwischen diese in die Figur legen, Figur 88, und zwei der vorhandenen Punktpaare, z. B. d und h, und e und g, zu je einem Punkte in ihm zusammenziehen. Wir erhalten dann sechs Stützpunkte a, b, c, d, e, f, welche nun ebenfalls weder eine Drehung des Prismas um eine der Abscissenachsen, noch eine Schiebung nach zweien derselben gestatten.

Fig. 87.

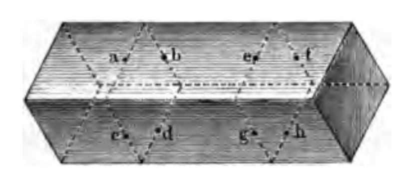
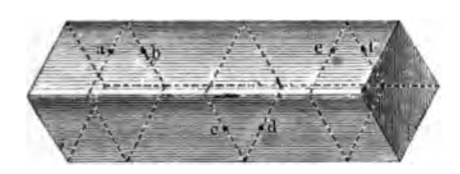


Fig. 88.



Stützung im Drehkörperpaar. Wählen wir als Drehkörper, welcher mit dem Minimum von Punkten gestützt werden soll, einen Vollcylinder mit flachen Enden, Fig. 89, und legen wieder zwei zur Drehungs- und Cylinderachse senkrechte Schnitte dadurch, so haben wir jeden derselben gegen Querverschiebung zu stützen, was mit je drei Punkten *a*, *b*, *c* und *d*, *e*, *f* gelingt, und einen Längsschnitt gegen Längenverschiebung zu sichern, was durch zwei Stützpunkte *g* und *h* an den Endflächen bewirkt werden kann. Auch hier erhalten wir also zunächst acht Stützpunkte. Verlegt man aber die sechs erstgenannten Punkte an die Ränder der Endflächen, Fig. 90, indem man

Fig. 89.

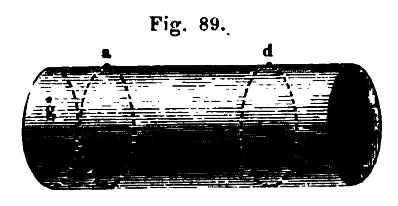
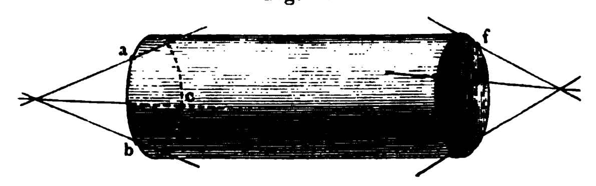


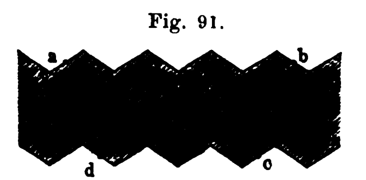
Fig. 90.



der stützenden Fläche jedesmal eine passende Neigung gibt, so können diese sechs Stützpunkte die Verhinderung der Längsverschiebbarkeit mit übernehmen, also für die ganze Stützung ausreichen.

Stützung im Schraubenpaar. Um eine Schraubenspindel mit dem Minimum von Punkten zu stützen, sichern wir zwei zu einander rechtwinklige, der Achse nachgehende Schnitte derselben gegen Schiebung und Drehung; dann ist die Lage der Spindel dieselbe, wie in der Mutter. Dies gelingt (gemäss Fig. 78) mit je vier Stützpunkten, Fig. 91, so dass also auch hier wieder acht Stützpunkte erforderlich sind. Zwei Paare derselben können indessen, ähnlich wie bei Fig. 88 gezeigt wurde, in je einen Punkt zusammengezogen werden, so dass auch hier als äusserstes Minimum sich sechs Stützpunkte ergeben.

Fig. 91.



Wir finden hiernach für alle drei Umschlusspaare als jedenfalls ausreichend acht, und bei Benutzung von

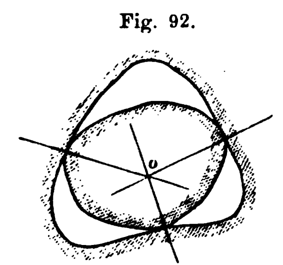
Doppelpunkten sechs Stützpunkte als genügend, um eines der Elemente in derselben Lage zu erhalten, welche ihm bei voller Ausbildung des Paares durch unendlich viele Stützpunkte gegeben wurde.

§. 21.

Höhere Elementenpaare.

Aus den Betrachtungen über die Stützung ebener Figuren gieng hervor, dass man Figurenpaare bilden kann, welche gegenseitig unverschieblich sind, ohne deshalb gegenseitig undrehbar zu sein, und zwar dann, wenn die Normalen der zum mindesten dann drei an der Zahl betragenden Stützpunkte einander in einem Punkte schneiden, wie Fig. 92 andeutet, so dass Drehbarkeit um nur einen einzigen Punkt vorhanden ist. Diese Drehbarkeit ist eine bestimmte, jede andere ausschliessende gegenseitige Beweglichkeit, d. i. ganz diejenige, welche wir oben in §. 3 als die Grundeigenschaft der zu einem Elementenpaar zu vereinigenden körperlichen Gebilde erkannt haben. Ist nun ein derartiges Figurenpaar so beschaffen, dass nach Vollführung einer unendlich kleinen Drehung um den Pol O wiederum Stützung in drei Punkten, deren Normalen einander in einem neuen Punkte schneiden, und so fort in jeder neuen gegenseitigen Stellung der Figuren stattfindet, so können diese offenbar zur Bildung der Elemente eines Paares dienen. Wir brauchen zu dem Ende z. B. nur Cylinder auf ihnen zu errichten und diese mit Rändern zu versehen, welche Axialverschiebungen ausschliessen.

Fig. 92.



Hinsichtlich der beiden Basisfiguren ist aber ein Punkt noch besonders hervorzuheben. Angenommen, die Stütznormalen derselben haben bei vollständiger Stützung gegen Verschiebung einen gemeinsamen Schnittpunkt, und es finde um diesen eine unendlich kleine Drehung statt, nach dieser und jeder folgenden aber erweise sich die Stützung immer noch vollständig, so ist nothwendig in allen Lagen die Stützung auch noch so beschaffen gewesen, dass die Stütznormalen durch einen und denselben Punkt giengen. Da nämlich die Stützung keine Schiebung gestattete, ist die einzig mögliche

Bewegung eine Drehung gewesen; diese kann nur um einen einzigen Punkt stattgefunden haben, welcher nur der Schnittpunkt aller Normalen sein konnte. Denn hätte etwa Drehung um einen von vielen Punkten vor sich gehen können, so würde dieselbe um einen Punkt ausserhalb wenigstens einer der Stütznormalen stattgehabt, mithin die Figuren an dem zugehörigen Stützpunkt von einander getrennt haben, was aber der Voraussetzung, dass die Stützung stetig erhalten bleibe, widerspricht. Hieraus folgt mithin der wichtige Satz, dass: wenn von zwei Figuren nachgewiesen werden kann, dass sie in allen stetig aufeinanderfolgenden gegenseitigen Lagen sich gegenseitig gegen Schiebung stützen, damit zugleich nachgewiesen ist, dass ihre Stütznormalen einander immer in einem Punkte schneiden.

Die Aufeinanderfolge der Normalschnittpunkte oder Pole in jeder der beiden Figuren liefern deren Polbahnen, die auf diesen errichteten Cylinder die Axoide der beiden gepaarten Körper.

Die in dieser Weise entstehenden Elementenpaare haben nicht die Eigenschaft des gegenseitigen Umschlusses der Elemente, welche bei den oben gefundenen drei Paaren Voraussetzung war, sondern die allgemeinere und höhere Eigenschaft der gegenseitigen Umhüllung (siehe §. 3). Wir wollen sie deshalb den Umschlusspaaren gegenüber höhere Elementenpaare nennen; jene werden dann wegen der geringeren Mannigfaltigkeit ihrer Eigenschaften niedere Paare heissen. Um die höheren Paare kennen zu lernen, betreten wir den Weg der Untersuchung einiger Beispiele.

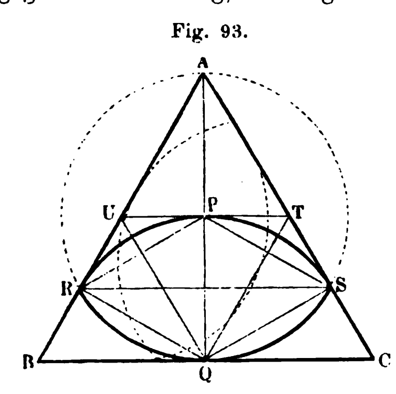
§. 22.

Das Bogenzweieck im Dreieck.

Schlägt man aus den Endpunkten einer geraden Strecke PQ mit deren Länge Kreise, so schneiden diese von der Ebene ein gleichseitiges Bogenzweieck $PRQS$, Fig. 93, ab. Dieses wird von einem gleichseitigen Dreieck ABC von der Höhe 2 PQ in den Punkten Q, R und S berührt, wenn Q in die Mitte einer Dreieckseite gelegt wird. Denn AB ist $\perp$ zu QR, weil $\angle\, PRA = \angle\, BAQ = 30^0$, und $\angle\, QRP = 60^0$, und ausserdem Q, R, A und S dem aus P mit PQ beschriebenen Kreise angehören. Die Stütznormalen aus Q, R und S schneiden einander in Q, und

schliessen Nachbarwinkel von 120° ein. Es findet demnach Stützung gegen Verschiebung, und zugleich Drehbarkeit um nur einen Punkt (vergl. Fig. 71) statt. Dasselbe gilt aber auch von jeder anderen Stellung des Zweieckes im Dreieck, z. B. von der punktirten, wie aus folgendem hervorgeht.

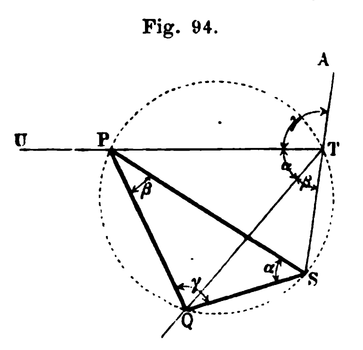
Fig. 93.



Erhalten wir zunächst Berührung zwischen dem Zweieck und nur zwei Seiten AB und BC des Dreieckes, was immer angeht, so bewegt sich bei Linksdrehung der Punkt P auf einer zu AB parallelen Geraden TU, weil P von allen Punkten des Bogens RQS als dessen Zentrum gleichweit absteht; ebenso bewegt sich der Punkt Q auf einer zu AB parallelen Geraden QT. Die beiden Geraden schneiden einander in T unter 60°, d. i. unter demselben Winkel, unter welchem PS und QS einander bei S schneiden. Die uns noch unbekannte Bahn des Punktes S gegen das Dreieck ABC ist also allgemein die der Spitze eines beliebigen Dreieckes PSQ, welches mit seinen Basis-Endpunkten P und Q auf den Schenkeln eines Winkels gleitet, welcher = dem Spitzenwinkel des Dreieckes ist.

PQS, Fig. 94, sei dieses Dreieck, α sein Spitzenwinkel, β und γ seine Basiswinkel. $UTQ = \alpha$ der Winkel, auf dessen Schenkeln die Punkte P und Q gleiten. Die Punkte S und T sind aber Punkte eines durch P und Q gehenden Kreises, in welchem α Peripheriewinkel auf der Sehne PQ ist. Verbinden wir demnach S mit T, so ist $\angle\ QTS$ als Peripheriewinkel auf der Sehne QS = dem Basiswinkel β bei P, also konstant. Ausserdem ist, indem wir ST über T hinaus nach

Fig. 94.



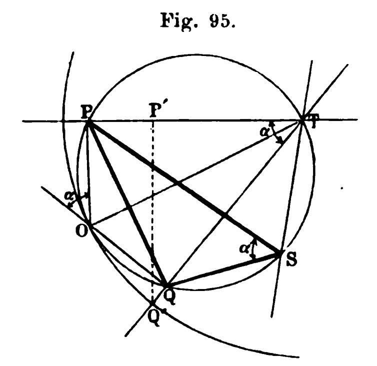
A verlängern, $\angle\ ATP = 180 - (\alpha + \beta)$, d. i. = dem Basiswinkel γ bei Q. Der Punkt S bewegt sich somit auf einer Geraden, welche mit den Schenkeln des gegebenen Winkels die

beiden Basiswinkel des gegebenen Dreieckes einschliesst. Diese Gerade ist oben in Fig. 93 die dritte Dreieckseite AC, welche bei T mit QT wie mit UT den Winkel 60°, den Basiswinkel des gleichschenkligen (auch gleichseitigen) Dreieckes PSQ einschliesst; die Dreieckseiten berühren somit stets alle drei das Bogenzweieck.

Die Durchlaufung der Dreieckseite CA durch die Spitze S geschieht stetig; ebenso die der beiden anderen Dreieckseiten durch die Bogen, welche das Zweieck bilden; immer haben dabei die Stütznormalen den Nachbarwinkel 120°, weil sie ja senkrecht auf den Dreieckseiten stehen. Es sind somit die Bedingungen der stetigen Stützung gegen Schiebung in dem Figurenpaar erfüllt, und somit müssen nach §. 21 die Stütznormalen einander immer in einem Punkte schneiden, so dass die beiden Figuren sich zur Bildung eines höheren Elementenpaares eignen. Wir haben nunmehr die Polbahnen aufzusuchen.

a) Polbahn, welche dem Dreieck angehört. Um unserer Untersuchung eine grössere Allgemeinheit zu geben, nehmen wir dieselbe an dem obigen Problem von Winkel und Dreieck vor, da in demselben die Strecke PQ als eine ebene Figur aufzufassen ist (vergl. §. 5), welche sich gegen die durch den Winkel UTQ ausgedrückte Figur genau so bewegt, wie das Bogenzweieck gegen das Dreieck. Wir müssen, wie in §. 8 gezeigt wurde, nun die Bahnen von wenigstens zwei Punkten der beweglichen Figur kennen. Es sind uns aber bekannt die geradlinigen Bahnen ..PT und TQ.. der Punkte P und Q. Die Normalen zu diesen Bahnen, Fig. 95, schneiden einander in O, welcher Punkt aber in dem oben gefundenen Kreise liegen muss, da die Normalen als rechtwinklig auf den Schenkeln des Winkels α den Winkel α einschliessen. Ausserdem sind nun die Winkel OPT und OQT Rechte, mithin ist die Verbindungslinie OT der Durchmesser des Kreises $PTSQ$. Dieser Kreis selbst aber ist von konstanter Grösse, da die Sehne PQ und der Winkel α konstant sind; somit ist auch der Abstand TO des Poles O von dem Punkte T konstant; es liegt also der Pol stets auf einem aus T mit dem Abstand TO beschriebenen

Fig. 95.



Kreise. Um die wirkliche Grösse des Halbmessers TO zu erhalten, schieben wir die PQ so lange, bis sie senkrecht auf einem der beiden Winkelschenkel steht, was z. B. in der Stellung $P'Q'$ der Fall ist. Dann ist die eine der Normalen in PQ selbst übergegangen, die andere = Null geworden und sofort ersichtlich, dass $TQ' = TO = \frac{P'Q'}{\sin\alpha} = \frac{PQ}{\sin\alpha}$, oder, wenn wir PQ mit R, PQ mit a bezeichnen, $R = \frac{a}{\sin\alpha}$.

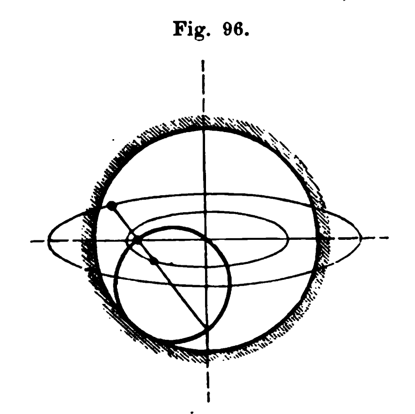
b) **Polbahn, welche dem Zweieck angehört.** Wenn wir um die zweite Polbahn zu finden, jetzt die Strecke PQ feststellen und den Winkel PTQ in Bewegung setzen, so schieben sich dessen durch P und Q gehende Punkte in den Richtungen der Winkelschenkel TP und TQ selbst.

Die Normalen schneiden sich wie vorhin in O. Dieser Punkt ist aber nun der geometrische Ort der Spitze eines Dreiecks von der Basis PQ und dem Spitzenwinkel $180 - \alpha$, beziehungsweise α, d. i. der Kreis $QOPTS$ vom Durchmesser TO, beschrieben um die Ecken des gegebenen Dreieckes PQS. Bezeichnen wir den Halbmesser dieses Kreises mit r, so haben wir

$$r = \frac{TO}{2} = \frac{a}{2\sin\alpha} = \frac{R}{2}.$$

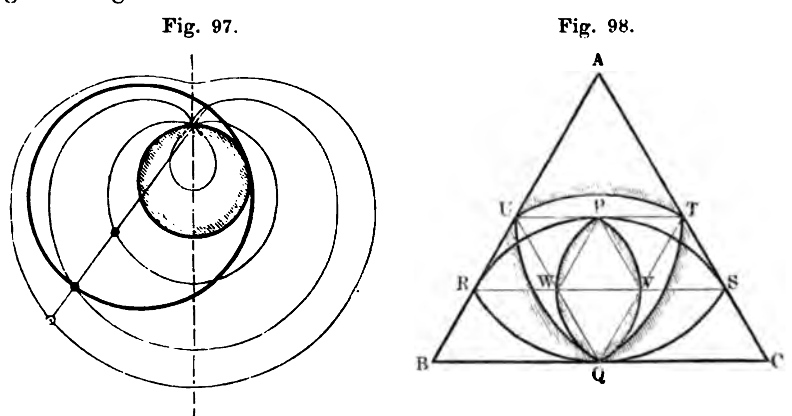
Die Polbahnen unseres schematischen Figurenpaares „Dreieck und Winkel" sind hiernach, wenn wir sie vollständig ausführen, zwei Kreise vom Grössenverhältniss 1:2, von denen der kleinere in dem grösseren rollt. Die Relativbahnen derselben sind mithin Cykloiden; insbesondere gehen für die Rollung von r in R die Hypocykloiden in Ellipsen über, Fig. 96, von denen wiederum die durch Umfangspunkte von r beschriebenen die lange Halbachse R, die kurze Halbachse Null haben, und deshalb mit Durchmessern von R zusammenfallen; für die Rollung von R um r nehmen die Peri-Cykloiden die besondere Form der **Peri-Kardioiden** an, siehe Fig. 97, wo, wie in Fig. 96, die gemeine, die

Fig. 96.



sogenannte verlängerte und die verkürzte Form dargestellt sind. Das erstere dieser beiden Cykloidenprobleme ist meines Wissens zuerst, wenn auch unvollständig, von dem bekannten Mathematiker Cardano (im 16. Jahrhundert) behandelt worden [14]). Da ich noch sehr oft auf dieses merkwürdige Kreispaar zurückkommen muss, will ich es fortan der Abkürzung halber die Cardanischen Kreise nennen. Bei unserem Problem vom Bogenzweieck im Dreieck kommen dieselben nur bruchstückweise zur Verwendung, da ja auch das Problem des Dreieckes mit dem Winkel nicht durch alle Grenzen dabei in Anwendung ist. Wir finden bei näherem Eingehen folgendes.

Fig. 97. Fig. 98.



Während, Fig. 98, der Punkt P nach U geht, ist T die Spitze des Winkels, auf dessen Schenkeln PQ gleitet; der Halbmesser $R = \frac{PQ}{\sin\alpha} = \frac{PQ}{\sin 60^0}$ ist die Strecke TQ, ihre Hälfte VQ aber der Halbmesser r, der Kreisbogen QU also der in Betracht kommende Bogen des grösseren, und der Bogen QWP der des kleineren der Cardanischen Kreise. Dabei ist, weil $\angle\ UTQ = 60^0$, $\angle\ PVQ = 120^0$, Bogen $UQ =$ Bogen QWP. Von U ab geht P auf der Sehne UQ bis W, und Q auf der Sehnenhälfte VT; diesmal ist also Q die Spitze des Winkels, auf dessen Schenkeln PQ gleitet, QU der Halbmesser R, WQ der Halbmesser r; sie liefern die gleichlangen Bogen UT und QVP. In W angelangt, geht nun ferner P der Sehnenhälfte WQ nach, während Q von T nach P geht; U ist jetzt die Winkelspitze, aus der mit R nun Bogen QT beschrieben wird, auf welchem wieder der Bogen QWP wälzt. Nach diesen Bewegungen ist P an der Stelle von Q angelangt, und

umgekehrt, das Bogenzweieck hat also erst 180° durchlaufen. Bei weiterer Drehung um zwei Rechte wird vom Pol das Bogendreieck *QUT* ein zweitesmal, und das Bogenzweieck *PVQW* nochmals $1\frac{1}{2}$ mal durchlaufen, so dass der Pol nach Wiederkehr in die Anfangsstellung vom Bogendreieck *QUT* 2×3 Seiten, vom Bogenzweieck *PVQW* 3×2 Seiten durchwandert hat, wobei fortwährend Rollung zwischen den beiden Polbahnen stattfand [15]). Diese Bahnen selbst haben wir nunmehr vollständig gefunden. Sie sind: a) am gleichseitigen Dreieck ein gleichseitiges Bogendreieck, welches dem gleichseitigen Dreieck eingeschrieben ist, b) am Bogenzweieck ein diesem geometrisch ähnliches Bogenzweieck, welches die kurze Achse des gegebenen zur langen Achse hat, und welches in der Polbahn des Dreieckes rollt.

§. 23.

Punktbahnen des Bogenzweiecks gegen das gleichseitige Dreieck.

Tafel I. Fig. 1 bis 11.

Die Bahnen, welche von den einzelnen Punkten des Bogenzweiecks gegen das Dreieck beschrieben werden, können wir nunmehr, nachdem die Polbahnen der beiden Figuren ermittelt sind, vollständig bestimmen, indem wir das Dreieck feststellen und das Zweieck bewegen. Da die Polbahnen aufeinander rollen, so sind alle Punktbahnen unserer Elemente Rollungskurven, nach französischem Gebrauch Rouletten genannt, wofür wir hier Rollzüge sagen wollen. Von zwei wichtigen Punkten des Zweiecks, den Punkten *P* und *Q* haben wir die Bahnen bereits ermittelt. Beide Punkte beschreiben, da sie immer einem kleinen Cardanischen Kreise angehören, Hypocykloidenstücke, welche mit Abschnitten von Durchmessern der zugehörigen grossen Cardankreise zusammenfallen. Die Abschnitte reihen sich, wie bereits bemerkt, zu zwei einander deckenden gleichseitigen Dreiecken, Fig 1, aneinander. Alle übrigen Punkte des Zweiecks beschreiben nothwendig Bogen verkürzter oder verlängerter Hypocykloiden, welche hier insbesondere bekanntlich Ellipsen sind. Man benennt die verkürzten und verlängerten Cykloiden aller Gattungen hie und da mit dem gemeinsamen Namen Trochoiden. Im Anschluss an

diese Bezeichnung können wir sagen, dass alle noch übrigen Punktbahnen des Bogenzweiecks **Hypotrochoiden** sind, deren Grundfigur das gleichseitige Dreieck UTQ ist. Wie dieses Dreieck aus sechs Hypocykloidentrümmern besteht, so bestehen die übrigen Punktbahnen aus sechs Hypotrochoidenbogen. Die von diesen gebildete Gesammtfigur nimmt dabei je nach der Lage des beschreibenden Punktes sehr verschiedene Formen an. Fig. 1 stellt ausser dem Dreieck noch drei dieser Kurven dar. Die beschreibenden Punkte derselben liegen auf der Verlängerung der kurzen Achse PQ der Bogenscheibe, d. i. der langen Achse der Polbahn $Pm_1 Qm_2$, und sind, von aussen anfangend, mit 1, 2, 3 bezeichnet; Punkt 4 trifft mit P selbst zusammen. Die im allgemeinen dreischenkligen Figuren nähern sich mehr und mehr dem Dreieck, um bei 4 in dasselbe überzugehen. In Fig. 2 sind in grösserem Maassstab noch die Bahnen von drei weiteren Punkten, 5, 6 und 7, von denen der letztere der Mittelpunkt M der Scheibe ist, eingetragen. Die Bahn von 5 erhält drei Schleifen; beim Punkt 6, welcher so gewählt ist, dass er bei der in Fig. 1 gezeichneten Lage im Mittelpunkt M_1 des Dreieckes ABC liegt, fallen die Knoten der drei Schleifen zusammen. Liegt der beschreibende Punkt zwischen 6 und 7, so überschneiden sich die schleifenbildenden Reste, indem sie ein kleines Dreieck einschliessen; Punkt 7 endlich beschreibt die drei Schleifen ebenfalls noch, allein diese fallen in eine Kurve zusammen, welche die **kleinste** der von den Punkten des Zweiecks beschriebenen Kurven ist. Diese Kurve ist zweiblätterig, nämlich wird bei einer ganzen Periode zweimal von Punkt 7 durchlaufen, wie eine Betrachtung der Schleife 6 lehrt, deren Tangente sich zweimal um vier Rechte dreht.

Verlegt man den beschreibenden Punkt weiter über 7 hinaus auf der Achse P, so wiederholen sich die besprochenen Kurven in umgekehrter Reihenfolge.

Eine zweite Reihe von ausgezeichneten Kurven bilden diejenigen, welche durch Punkte der langen Achse RS der Bogenscheibe beschrieben werden. Beispiele davon sind in Fig. 3 und 4 dargestellt. Punkt 1 beschreibt wieder ein elliptisches Dreieck; Punkt 2, zusammenfallend mit dem Achsen-Endpunkt S, eine theils geradlinig, theils elliptisch begrenzte dreischenklige Figur, Punkt 3 ein eingedrücktes elliptisches Dreieck, welches in Fig. 4 in grösserem Maasstab dargestellt ist. Der Punkt 4 fällt mit dem Endpunkt m_2 der kurzen Achse $m_1 m_2$ der kleinen Polbahn zusammen.

Er beschreibt die merkwürdige Figur Nr. 4 in Fig. 4, bestehend aus drei Kreisbogen (beschrieben von m_2 als Mittelpunkt des Bogens Pm_1Q) und drei geradlinigen zweifach durchlaufenen Fortsätzen (beschrieben von m_2 als Umfangspunkt des Bogens Pm_2Q). Der Punkt 5 beschreibt eine Kurve mit drei Schleifen, welche sich im Punkte M_1 kreuzen, Punkt 6 eine dreischleifige innen dreieckig geöffnete Kurve, und M als Mittelpunkt wieder die aus Fig. 2 bekannte, dort mit Nr. 7 bezeichnete Figur. Beachtenswerth ist, dass die Trochoidendreiecke, welche die Punkte der grossen Achse durchlaufen, ihrer allgemeinen Lage nach um 60^0 gegen die Punktbahnen der kleinen Achse verdreht stehen.

Zwischen diesen beiden Lagen befinden sich diejenigen der im allgemeinen auch elliptisch dreieckigen Punktbahnen, deren Fahrstrahlen zwischen die grosse und die kleine Achse fallen. Vier dieser Bahnen sind unter den Nummern 1′, 2′, 1″ und 2″ in Fig. 3 und 4 punktirt eingetragen. Diese Figuren sind, wie namentlich Nr. 2″ deutlich zeigt, nicht mehr dreiachsig symmetrisch, wie die erstbeschriebenen waren [16]).

§. 24.

Punktbahnen des Dreieckes gegen das Bogenzweieck.

Tafel I. Fig. 5 bis 8.

Behufs Bestimmung der Punktbahnen des Dreieckes gegen das Bogenzweieck halten wir letzteres fest und setzen ersteres in Bewegung. Es rollt dann das Bogendreieck UTQ, Fig. 5, um das Bogenzweieck Pm_1Qm_2. Die beschriebenen Figuren setzen sich nach dem, was bei Fig. 97 angedeutet wurde, aus Peri-Kardioiden zusammen. Alle beschreibenden Punkte, welche ausserhalb eines rollenden Bogens liegen, beschreiben wieder Trochoiden, hier also Peritrochoiden.

Zunächst fällt aufs deutlichste ins Auge, wie sehr diese Figuren in ihrer allgemeinen Gestalt von den vorhin betrachteten abweichen. Das Beispiel ist deshalb ganz besonders geeignet, das den Mechanikern der bisherigen Schule unbewusst anhaftende Vorurtheil, als bewirke die Umkehrung eines Paares höchstens Aenderung des Drehungssinnes, nicht aber Aenderung der Punktbahnen, zu zerstreuen [17]). Dieser Umstand hat mir wesentlich Veranlassung gegeben, das eigenthümliche Elementenpaar zu kon-

struiren *), dem ich eine besondere praktische Bedeutung sonst nicht zuschreiben will.

Die Figuren 5 und 6 unserer Tafel zeigen die Bahnen von Punkten der Achse *MA*.. des Dreieckes. Punkt 1 beschreibt ein stumpfes Oval, welches wie die übrigen Figuren aus sechs Peritrochoidenbogen zusammengesetzt ist. Punkt 2, mit der Dreieckspitze *A* zusammenfallend, beschreibt ein eingedrücktes Oval, ebenso Punkt 3; Punkt 4 setzt mit zwei reinen Kardioidenbogen bei m_1 und m_2 auf die ruhende Polbahn auf. In Fig. 6 ist die Bahn Nr. 4 in grösserem Maasstab wiederholt. Die Bahnen 5 und 6 haben zwei Schleifen, welche bei Nr. 7 in eine einzige ovale Kurve zusammengehen. Punkt 7 fällt zusammen mit dem Mittelpunkt M_1 des Dreieckes *A B C*. Bemerkenswerth ist, dass die Bahn 7 dreiblättrig ist, nämlich von dem Punkte M_1 dreimal bei jeder Periode durchlaufen wird. Man erkennt dies an den schleifenförmigen Bahnen 5 und 6, deren Tangentenrichtung sich dreimal durch vier Rechte dreht. Merkwürdig ist auch die Bahn 1, indem die drei stets in ihr liegenden homologen Punkte 1 1′ 1″ des Dreieckes sie immer so berühren, dass vollständige Stützung (entsprechend Fig. 59) stattfindet.

Figur 7 und 8 zeigen noch weitere Punktbahnen, welche man erhält, wenn man den beschreibenden Punkt über M_1 hinaus nach *Q* hin verlegt, oder, was dasselbe Resultat liefern würde, von M_1 nach *T* oder *U* hinrückt. Man sieht, dass nun die Hauptachse der Figur um 90° verdreht erscheint, auch dass die Schleifen sich an Punkten bilden, welche um 90° von den in Fig. 6 befindlichen Schleifenradien abstehen. Karakteristisch ist das Kurvenstück *TS*, Fig. 7, und seine symmetrischen Wiederholungen; es ist der Kreisbogen, welchen der Mittelpunkt *T* des rollenden Bogens *UQ* beschreibt.

Legt man die beschreibenden Punkte auf Fahrstrahlen, welche zwischen $A M_1$ und $T M_1$ fallen, so erhält man Punktbahnen, welche nicht, wie die vorstehenden, zweiachsig symmetrisch sind. Beispiele sind nicht eingetragen, da die Bahnen 1′ 2′ u. s. w. in Fig. 3 und 4 durch Analogie genügend Aufklärung geben.

Wir haben im Vorstehenden einen ungemeinen Formenreichthum in den Punktbewegungen des betrachteten Elementenpaares gefunden, können indessen denselben durch Anlehnung an die bei

*) Zuerst der Naturforscher-Versammlung in Zürich 1864 vorgelegt.

den Cykloiden übliche Betrachtungsweise wesentlich übersichtlicher machen. Jede der beiden Feststellungsarten liefert eine Schaar von Punktbahnen, jede Schaar für sich wieder in Gruppen zerlegbar je nach der Lage des Fahrstrahles, welcher den beschreibenden Punkt trägt. Karakteristisch sind vor allem die Bahnen der Umfangspunkte der Polbahnen, wie z. B. das Dreieck *UTQ*, Fig. 1, die dreispitzige Bahn des Punktes m_2 in Fig. 4, u. s. w. Diese Punktbahnen können die gemeinen Formen der betreffenden Rollzüge heissen, wie es bei den Cykloiden geschieht. Ferner nennen wir nach derselben Analogie alle Bahnen der Punkte, welche ausserhalb und innerhalb der rollenden Polbahn liegen, verlängerte beziehungsweise verkürzte Punktbahnen. Unter den letzteren ist eine ganz besonders karakteristisch und zudem allen Gruppen der Punktbahnen gemein; es ist die Bahn des Mittelpunktes der beweglichen Polbahn, *M* bei Fig. 1 bis 4, M_1 bei Fig. 5 bis 8. Dieser Rollzug ist zugleich der kleinste der jedesmal vorkommenden; auf ihn als den dem Polbahnumfang relativ am meisten angenäherten Punkt konzentriren sich die Punktbahnen, wie der Kreis auf den Mittelpunkt, wenn sein Fahrstrahl auf Null abnimmt; die Form heisse deshalb die konzentrirte Form der allgemeinen Punktbahn.

Sodann sind noch bemerkenswerth diejenigen Rollzüge, welche durch den Mittelpunkt der ganzen Kurvenschaar hindurchgehen, wie Nr. 6 bei Fig. 2. Die Rollzüge dieser Gattung wollen wir homozentrische nennen. Sie nehmen in unserem Beispiele eine Reihe von Gestalten an, von denen in den Figuren 2, 4, 6 und 8 je eine gezeichnet ist. Doch ist zu bemerken, dass homozentrische Punktbahnen nur von solchen Punkten beschrieben werden können, welche beim Umlauf der Polbahn überhaupt in das Zentrum der ruhenden Polbahn gelangen, oder umgekehrt: in welche das Zentrum der ruhenden Polbahn gelangen würde, wenn man das Elementenpaar umkehrte. Solche Punkte sind aber nur diejenigen der konzentrirten Punktbahnen. Mit anderen Worten: die Punkte der konzentrirten Punktbahnen beschreiben bei der Paar-Umkehrung homozentrische Punktbahnen. Somit sind also die homozentrischen Punktbahnen 6 Fig. 2 und 5 Fig. 4 von Punkten der in Fig. 6 und 8 eingetragenen konzentrirten Punktbahnen M_7 beschrieben u. s. w. Die dazu benutzten Punkte der konzentrirten Rollzüge sind leicht in den Figuren zu ermitteln.

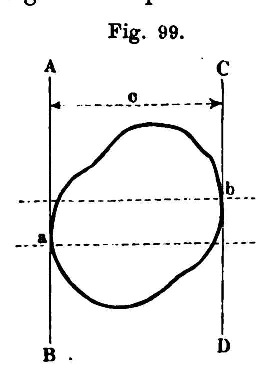
Die letztere Auffassungsweise lässt sich auch mit Vortheil rückwärts auf die Betrachtung der Cykloiden übertragen, woselbst wir sie auch ohne weiteres anzuwenden haben, wenn die Polbahnen höherer Elementenpaare Kreise sind. Dort sind die konzentrirten Rollzüge die von den Mittelpunkten der rollenden Kreise beschriebenen Kreise, die homozentrischen Züge jene sternförmigen Figuren, welche von den Umfangspunkten der gedachten Kreise beschrieben werden, und welche wiederholt wegen ihrer besonderen Eigenschaften die Aufmerksamkeit der Geometer auf sich gezogen haben [18]).

§. 25.

Figuren von konstanter Breite.

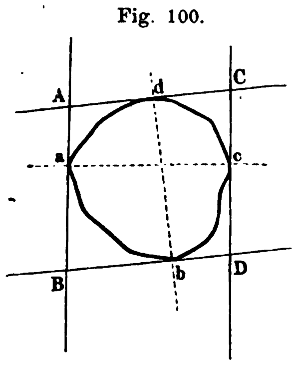
Die in §. 21 angestellte Betrachtung führt uns synthetisch noch eine Reihe anderer Elementenpaare zu, von welchen hier noch einige betrachtet werden sollen. Legt man an eine ebene Figur zwei parallele Tangenten, wie AB und CD, Fig. 99, so bemisst deren Abstand c die Ausdehnung der Figur in der Richtung der Stütznormalen. Diese Ausdehnung kann die Breite der Figur genannt werden; sie wird im allgemeinen eine veränderliche Grösse sein. Es sind aber Figuren denkbar, bei denen die Breite konstant ist, d. h. bei denen alle Paare paralleler, entgegengesetzt stützender Tangenten denselben Abstand haben. Ein Beispiel liefert der Kreis. Legt man an eine Figur von solcher Eigenschaft zwei Paare der gedachten Stütztangenten, so berühren diese die Figur in vier Punkten, deren Stützung, wie in §. 18 erwiesen wurde, die Figur gegen Verschiebung stützt. Nicht aber verhindert diese Stützung die Drehbarkeit der Figur, und diese Drehbarkeit ist obendrein noch so beschaffen, dass nur um einen Punkt Drehung stattfinden kann. Dies besagt, dass die in den vier Stützpunkten jeweilig errichteten Stütznormalen einander in dem gedachten einen Punkte schneiden, dass also die gegenüberliegenden Stütznormalen zusammenfallen, siehe Fig. 100, wo die Normale in a durch c, die in b durch

Fig. 99.



d geht. Denn, da die Breite der Figur konstant ist, so ist bei allen Lagenänderungen der Figur innerhalb des Tangentenvierseits die Stützung unausgesetzt vorhanden, oder stetig, woraus nach §. 21 das Vorhandensein eines einzigen Poles unmittelbar hervorgeht. Zugleich ist damit erwiesen, dass die Figuren von konstanter Breite die Eigenthümlichkeit besitzen, dass auf dem Krümmungshalbmesser jedes Umfangselementes nicht nur der zugehörige Krümmungsmittelpunkt, sondern auch derjenige zu dem gegenüberliegenden Umfangselemente liegt. Die vier Tangenten schneiden von der Ebene ein Quadrat, oder allgemeiner einen Rhombus $ABCD$ ab. Das Vorstehende lehrt also, dass **jede Figur von konstanter Breite in einem dieselbe einschliessenden Rhombus zwangläufig ist**, dass also aus ihr und dem Rhombus ein Elementenpaar gebildet werden kann.

Fig. 100.

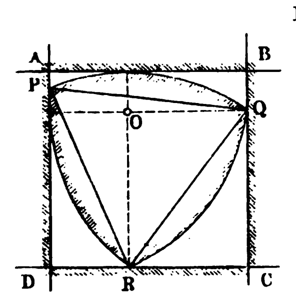


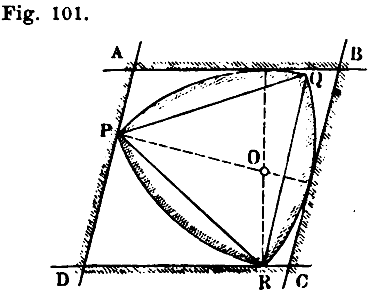
§. 26.

Das gleichseitige Bogendreieck im Rhombus.

Figuren von konstanter Breite sind leicht aus Kreisbogen zusammenzusetzen. Schlägt man aus den Ecken eines gleichseitigen Dreieckes PQR, Fig. 101, mit der Seitenlänge Kreise, so schneiden diese von der Ebene eine Figur ab, welche ein **gleichseitiges Bogendreieck** heissen kann. Dasselbe hat überall die Seiten-

Fig. 101.

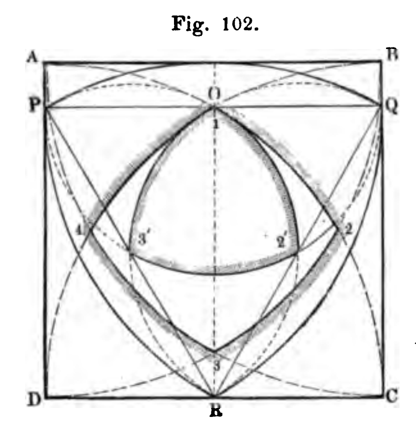




länge PQ zur Breite, wird also von einem Quadrat oder Rhombus $ABCD$, dessen Gegenseiten den Abstand PQ haben, zwangläufig eingeschlossen. Beim Quadrat schneiden sich die Stütznormalen in O rechtwinklig, beim Rhombus schiefwinklig. Benutzt man die entstehenden Figurenpaare als Basisfiguren für allgemeine Cylinder, und gibt denselben ein Querprofil, welches die Querbeweglichkeit aufhebt, so sind damit höhere Elementenpaare hergestellt.

Wir suchen die Polbahnen derselben auf, zunächst unter Annahme eines Quadrates als äusserer Figur. Um die Polbahn, welche dem Quadrat $ABCD$, Fig 102, angehört, zu bestimmen, ertheilen wir zunächst dem Bogendreieck in Gedanken eine Drehung um den Pol O. Dieser ist vermöge der in der Figur gewählten Anfangsstellung die Mitte der Seite PQ und liegt auf der senkrechten Symmetrieachse RO des Quadrats. Die Drehung sei eine Linksdrehung. Dann gleitet die Ecke P des Bogendreieckes abwärts der Seite AD entlang, während R nach rechts der Seite DC nachgeht. Die Normalen aus P und R schneiden sich immer rechtwinklig; mithin ist der Pol der geometrische Ort der Spitze eines Rechtwinkeldreieckes, dessen Hypotenuse auf den Schenkeln eines Rechtwinkels mit ihren Endpunkten gleitet. O ist dabei stets auch Ecke eines Rechteckes $PDRO$, dessen Diagonale konstant, nämlich $= PR$ ist. Somit ist die Polbahn ein Kreisbogen aus D, beschrieben mit $PR = PQ = AB$, d. i. = der Seitenlänge des Quadrates als Halbmesser. Diese Bahn gilt so lange, bis R sich C so weit genähert hat, als P von A absteht, d. i. bis zum Punkte 2. Alsdann tritt die Sehne PQ in Gleitbewegung auf BA und AD; Polbahn ist der dem vorigen kongruente Kreisbogen 2.3; dann folgt Bogen 3.4 und schliesslich 4.1 oder 4.O. Die Polbahn im Quadrate ist also ein Bogenquadrat, bestehend aus vier aus den Quadratecken mit der Quadratseite als Halbmesser beschriebenen Kreisbogen.

Fig. 102.



Um die dem Dreieck angehörige Polbahn zu bestimmen, kehren wir das Paar um, d. h. denken das Dreieck festgehalten und das Quadrat mit Rechtsdrehung um das Dreieck geführt. Als Polbahn ergibt sich dann alsbald der Ort der Rechtwinkelspitze O über der Hypotenuse PR, d. i. ein Kreis über dem Durchmesser PR, beschrieben aus dessen Mittelpunkte 3′. Dieser Kreis wird durchlaufen bis zum Mittelpunkte 2′ der Dreieckseite QR. Dann folgt der dem vorigen kongruente Bogen 2′.3′, und endlich der nach O zurückführende 3′.1. Demnach ist die dem Bogendreieck angehörige Polbahn wieder ein Bogendreieck, und zwar ebenfalls ein gleichseitiges, beschrieben aus den Mittelpunkten der Dreieckseiten PQ, QR und RP mit deren Hälften als Halbmesser.

Bei der Relativbewegung der beiden Figuren rollt der Bogen 1.2′ auf 1.2, dann 2′.3′ auf 2.3, danach 3′.1 auf 3.4 u. s. w. Um die Anfangsstellung wieder zu erreichen, muss der Pol auf beiden Bahnen gleiche Wege zurücklegen, d. i. dreimal die vier Seiten des Bogenquadrates 1.2.3.4 und viermal die drei Seiten des Bogendreiecks 1.2′.3′. Nach jeder Umlaufung des Bogendreieckes hat sich die Dreieckscheibe um 90° gegen das Quadrat verstellt, so dass nach der ersten Umlaufung die Ecke 1 des kleinen Bogendreieckes in Punkt 4, nach der zweiten in 3, nach der dritten in 2, und nach der vierten wieder in O.1. steht.

§. 27.

Punktbahnen des Bogendreieckes gegen das Quadrat.

Tafel II. Fig. 1 bis 4.

Die Punktbahnen des vorliegenden Elementenpaares haben, wie aus dem Vorstehenden hervorgeht, eine enge Verwandtschaft mit denjenigen des auf Tafel I. dargestellten Paares. Alle Bahnen der Punkte des Bogendreiecks gegen das Quadrat setzen sich aus Hypocykloiden- oder Hypotrochoidenbogen, die insbesondere in Ellipsenbogen übergehen, zusammen, während alle Punktbahnen des Quadrats gegen das Bogendreieck aus Perikardioiden, beziehungsweise Peritrochoiden bestehen. Zunächst stehe das Quadrat fest, das Bogendreieck bewege sich.

Figur 1 und 2 zeigen eine Schaar von Punktbahnen, deren beschreibende Punkte auf einem Fahrstrahl des Bogendreieckes liegen, der von der Mitte M rechtwinklig auf eine Sehne PQ und über dieselbe hinaus geführt ist. Die vom Punkte 1 beschriebene Figur ist ein Ellipsenviereck, dessen Ecken elliptisch abgestumpft sind, und zwar nach zwei kongruenten Ellipsenbogen, erzeugt einerseits beim Rollen des Bogens $m_1 m_2$ auf $O_4 O_1$, andererseits beim Rollen des Bogens $m_1 m_3$ auf $O_4 O_3$. Kommt m_2 nach O_1, so beginnt $m_2 m_3$ auf $O_1 O_2$ zu rollen. Der beschreibende Punkt 1 ist aber so gewählt, dass $m_1 1 =$ dem Radius $m_1 m_2$ ist, demnach Punkt 1 auf dem Umfang des fortgesetzt zu denkenden kleinen Cardanischen Kreises $m_2 m_3$ liegt, und somit eine Gerade beschreibt. Die durch A und B als die Mittelpunkte der grossen Cardankreise $O_1 O_2$ und $O_3 O_2$ gehenden Punktbahnenstrecken sind also Geraden, oder strenger Ellipsenbogen, welche in Geraden übergegangen sind. Der fernere Verlauf der Punktbahn übersieht sich leicht; dieselbe ist ganz durchlaufen, wenn viermal drei Seiten der Polbahn $m_1 m_2 m_3$ auf dreimal vier Seiten der Polbahn $O_1 O_2 O_3 O_4$ abgewälzt sind.

Der Punkt 2 beschreibt ein leise eingedrücktes Ellipsenviereck; der Randpunkt 3 ein stärker eingedrücktes. Der Endpunkt m_1, als vierter in der Reihe der beschreibenden Punkte, beschreibt rechts und links von O_4 zunächst je eine gerade Strecke, welche nach den Mittelpunkten C und D der Grundkreisbogen $O_4 O_1$ und $O_4 O_3$ gerichtet sind; zum Vergleich dienen die von den homologen Punkten m_2 und m_3 durchlaufenen Geraden $O_1 m_2$ und $O_3 m_3$; das daran anschliessende Bahnstück ist kreisförmig als Weg des Mittelpunktes des kleinen Cardankreises $m_2 m_3$ rollend in $O_1 O_2$, oder des Bogens $m_3 m_2$ rollend in $O_3 O_2$. Die hier besprochene Bahn ist die gemeine Form in der vorliegenden Kurvenschaar.

Der fünfte Punkt beschreibt ein an den Ecken bereits in Schleifen überschlagenes Ellipsenviereck, welches in Fig. 2 in doppeltem Maasstab dargestellt ist. Bei der Bahn von Punkt 6 greifen die Schleifen schon weit in einander; bei Punkt 7, welcher der Mittelpunkt M selbst ist, decken die Schleifen einander in einem sehr stumpfen Ellipsenviereck, welches bei einer ganzen Periode dreimal von M durchlaufen wird (vergl. §. 23). Der Mittelpunkt M_1 des Quadrates ist auch der Mittelpunkt dieser kleinsten der vom Bogendreieck beschriebenen Punktbahnen, oder, wie wir sie oben allgemein genannt haben, der konzentrirten Form der Punktbahn des Bogendreieckes.

Figur 3 und 4 zeigen in den ausgezogenen Kurven die Punktbahnen, deren beschreibende Punkte auf der Rückwärtsverlängerung des oben betrachteten Fahrstrahles liegen. Punkt 1 beschreibt ein ausgebogenes Ellipsenviereck; Punkt 2 ein geradseitiges Quadrat mit elliptisch abgestumpften Ecken, das Quadrat $ABCD$ bis auf die Ecken deckend, die Punkte 3 und 4 eingedrückte Ellipsenquadrate. Die letztere Figur ist in Fig. 4 in doppeltem Maasstab wiederholt; ebendaselbst ist sodann die Bahn des Randpunktes Nr. 5, welche eine der gemeinen Formen in der vorliegenden Kurvenschaar ist, eingetragen; sie besteht aus vier einwärts gekrümmten Ellipsenbogen mit vier geradlinigen Spitzen. Die Punktbahn 6 wird von dem in Fig. 3 mit dem Mittelpunkte des Quadrates zusammenfallenden Punkte M_1 beschrieben; sie ist demnach die homozentrische Form der Kurven der vorliegenden Schaar; der Punkt M beschreibt schliesslich wieder die konzentrirte Punktbahn 7.

Durch Punktirung sind ausserdem noch die Punktbahnen 1′, 2′ und 3′ angegeben, welche von Punkten eines Fahrstrahls beschrieben werden, der nicht mit einer der drei Hauptachsen der Polbahn zusammenfällt.

§. 28.

Punktbahnen des Quadrates gegen das Bogendreieck.

Tafel II. Fig. 5 bis 8.

Festgestellt ist das Bogendreieck PQR, beweglich das Quadrat $ABCD$. In Fig. 5 und 6 der Tafel II. sind sechs Punktbahnen, welche dem Fahrstrahl $MO_4 \ldots$ angehören, eingetragen. Nr. 1 und 2 sind verlängerte Rollzüge, aus Peritrochoidenbogen bestehend, Nr. 3 die gemeine Form der vorliegenden Kurve, Nr. 4 eine verkürzte Kurve. Dieselbe ist in Fig. 6 in doppeltem Maassstab wiederholt. Nr. 5 ist die homozentrische, Nr. 6 die konzentrirte Kurve. Letztere ähnelt sehr einem Kreise, besteht aber aus Peritrochoidenbogen, die einander so decken, dass in jeder Periode die Kurve viermal durchlaufen wird (vierblättrige Kurve).

Die Kurven 1′ und 2′ gehören einem zwischen zwei Hauptachsen fallenden Fahrstrahl an; die erste ist ein verlängerter, die andere ein verkürzter Rollzug.

Fig. 7 und 8 zeigen sieben Rollzüge, welche dem Fahrstrahl M_1B angehören. Nr. 1, 2 und 3 verlängerte Rollzüge, Nr. 4 ge-

meine Form, Nr. 5 und 6 verkürzte Rollzüge, Nr. 7 konzentrirter, übereinstimmend mit Nr. 6 in Fig. 6.

§. 29.

Andere Bogenscheiben von konstanter Breite.

Tafel III.

Wir fanden oben in §. 25, dass jede Figur von konstanter Breite in einem dieselbe einschliessenden Rhombus zwangläufig ist, mithin aus ihr und dem Rhombus ein Elementenpaar gebildet werden könne. Auf Tafel III. sind nun noch acht weitere Beispiele hierzu gegeben, welche vor allem geeignet scheinen, die ganz ausserordentliche Mannigfaltigkeit der sich aus diesem Satze ableitenden Zwangsbewegungen darzulegen, andererseits aber wegen der Vollständigkeit, die wir oben haben walten lassen, kürzer behandelt werden dürfen.

In Fig. 1 ist das bereits bekannte gleichseitige Bogendreieck in einen Rhombus eingeschlossen, dessen Winkel 60 und 120° sind. Die Gestalten, welche hierbei die beiden Polbahnen erhalten, sind ausserordentlich von denjenigen verschieden, welche bei dem Paare auf Tafel II. vorkamen. Die Polbahn des Bogendreieckes wird ein dreistrahliger Stern, gebildet aus drei Kreisbogen von Halbmesser $CQ = CR =$ der halben Seitenlänge des Rhombus; die Polbahn des Rhombus ist ein gleichseitiges Bogenzweieck, beschrieben mit der Rhombusseitenlänge $BA = BC$, d. i. dem doppelten Werthe des Halbmessers, mit welchem die Seiten der ersten Figur beschrieben sind. Die aufeinander rollenden Polbahnbogen sind deshalb wieder Cardanischen Kreisen angehörig, die Punktbahnen aus Trochoiden zusammengesetzt.

Einige der Polbahnen, welche das Bogendreieck gegen den Rhombus beschreibt, sind eingetragen. Punkt I. auf der Mitte des Lothes AQ, dem Rhombus angehörig, durchläuft eine zweiachsig symmetrische Figur, die einem Schienenprofil ähnlich sieht; das Zentrum II, dem Dreieck angehörig, beschreibt die konzentrirte Punktbahn des Dreieckes, die nichts anderes ist, als der in der Richtung von DB liegende Durchmesser EF des Bogenzweieckes AC, welcher dreimal bei jeder ganzen Periode durchlaufen wird. Diese konzentrirte Figur fällt ausserdem hier mit der

homozentrischen zusammen, und ist gleichzeitig, als von einem Umfangspunkt der Polbahn beschrieben, als gemeine Form des Rollzuges zu betrachten. Die Punktbahn I′ ist ein verlängerter Rollzug des Rhombus, II′ ein verkürzter derselben Figur. Die sämmtlichen Punkte des Durchmessers EF beschreiben homozentrische Bahnen im Bogendreieck; eine derselben, diejenige der Randpunkte E und F, ist eingetragen. Die Mannigfaltigkeit der Formen, welche die Rollzüge hier annehmen, zeigt, wie sehr man sich vor verfrühten Analogieschlüssen hinsichtlich des allgemeinen Formkarakters der vorliegenden Punktbahnen hüten muss.

Fig. 2. Gleichzeitiges Bogenfünfeck im Quadrat. Das Bogenfünfeck ist durch Beschreibung von Kreisbogen aus den Ecken eines regelmässigen Fünfecks mit der Diagonale als Halbmesser erzeugt, wodurch eine Figur von konstanter Breite erzeugt wird. Als Polbahnen ergeben sich: für das Quadrat $ABCD$ ein Bogenquadrat 1′2′3′4′, beschrieben aus den vier Eckpunkten mit der Fünfeckseite PQ als Halbmesser; für das Bogenfünfeck ebenfalls ein gleichseitiges Bogenfünfeck, beschrieben mit der halben Fünfeckseite als Halbmesser aus den Seitenmitten m_1, m_2, m_3, m_4, m_5. Die Polbahn der Scheibe rollt hier um die Polbahn des Quadrates, wobei letztere vom Pol fünfmal, erstere viermal bei jeder Periode durchlaufen wird. Die mit I bezeichnete Punktbahn wird vom Bogenfünfeck im Quadrat beschrieben und ist, da Punkt I ausserhalb der Polbahn liegt, eine verlängerte Kurve; die Kurve I′ ist ebenfalls ein verlängerter Rollzug, wird aber von einem Punkte des Quadrates gegen das Fünfeck beschrieben.

Fig. 3. Herzförmige Bogenscheibe, von fünf Kreisbogen begrenzt, im Quadrat. PSQ gleichschenkliges Dreieck, mit dem Spitzenwinkel $PSQ = 53^{\circ}$. Die Bogen PQ, ST und SR sind aus S, Q und P mit der Quadratseite AB als Halbmesser beschrieben, die Bogen TP und QR aus dem Schnittpunkte M der Sehnen PR und QT mit der halben Quadratseite als Halbmesser. Die Figur erhält dabei die konstante Breite AB. Als Polbahnen ergeben sich unter den angegebenen Verhältnissen: für die Bogenscheibe ein ungleichseitiges Bogenzweieck 1, 2; für das Quadrat ein achteckiger Stern aus Bogen von abwechselndem Halbmesser. Die aufeinander rollenden Polbahnbogen gehören Cardanischen Kreisen an. Zwei Punktbahnen, I und I′, sind eingetragen. Besonders karakteristische Punktbahnen sind die gemeinen Rollzüge, welche die beiden Eckpunkte 1 und 2 der Polbahn der Bogen-

scheibe beschreiben. Diese Bahnen sind nämlich geradseitige Quadrate 1′3′5′7′ und 2′4′6′8′.[19])

Fig. 4. Gleichschenkliges Bogendreieck im Rhombus. Ueber einem gleichschenkligen Dreieck 1 S 2, dessen Spitzenwinkel < 60° ist, sind aus 1 und 2 mit den Halbmessern 1 S und 2 S die Kreisbogen ST und SR bis zu den Schnitten T und R mit der verlängerten 1 2.. geschlagen, darauf aus denselben Mittelpunkten mit 1 T und 1 R die Bogen TP und RQ bis zu den Schnitten P und Q mit den verlängerten Seiten 1.. und S_2...; endlich sind P und Q durch einen Kreisbogen aus S mit einander verbunden. Die von diesen fünf Kreisbogen eingeschlossene Figur ist von der konstanten Breite QS. Hier ist sie in einen Rhombus von den Seitenwinkeln 60 und 120° eingeschlossen. Die Polbahnen fallen ziemlich verwickelt aus; sie bestehen nach wie vor aus Cardanischen Kreisbogen, von denen vier die Polbahn der Bogenscheibe, acht diejenige des Rhombus bilden. Zwei Punktbahnen I und I′, die erstere vom Dreieck, die andere vom Rhombus beschrieben, sind eingetragen.

Eine andere Bogenscheibe im Rhombus zeigt Fig. 5. Sie ist eine gleichseitige wie die in Fig. 1; dabei sind die Halbmesser der Profilbogen, welche nach wie vor aus den Ecken PQR beschrieben sind, um einen kleinen Zuwachs grösser als die Seitenlängen gemacht, das entstehende Bogendreieck aber an den Ecken durch Kreisbogen aus P, Q und R mit jenem Zuwachs als Halbmesser abgestumpft. Die Bewegung findet nun gerade so statt, als ob das punktirte normale Bogendreieck PQR sich in dem ebenfalls durch Punktirung angegebenen Rhombus $O_1O_2O_3O_4$ bewege, während die wirkliche Bogenscheibe sich in dem Rhombus $ABCD$ bewegt. Der Rhombus hat 76 und 104° Winkelöffnung, während der in Fig. 1 60 und 120° hatte. Dieser Unterschied macht sich bei den Polbahnen bemerkbar, welche gleichsam als Abstumpfungen der in Fig. 1 zur Geltung gekommenen Polbahnen anzusehen sind. Der Uebergang zu den Formen, welche für das Quadrat und das gleichseitige Bogendreieck oben gefunden wurden, ist hier zu überblicken.

Fig. 6, 7 und 8 zeigen noch drei weitere Paare, deren Bildung analog den bisher besprochenen geschehen ist. Fig. 6 ist bemerkenswerth durch die Regelmässigkeit der Polbahnen sowohl, als dadurch, dass die Eckpunkte 1 und 2 der kleinen Polbahn wieder je ein geradseitiges Quadrat beschreiben. Die Scheibe in Fig. 7

ist analog derjenigen in Fig. 4, nur mit kleinerem Spitzenwinkel, gebildet; die in Fig. 8 ist analog derjenigen in Fig. 3. Der Unterschied zwischen den Polbahnen in Fig. 3 und 8 ist sehr bemerkenswerth. Durch die Bezifferung der Polbahnen ist eine Verfolgung der Rollbewegung der einen Bahn in der andern so viel als thunlich erleichtert. Die Beispiele zeigen klar, welche Mannigfaltigkeit der Bewegungen sich mit höhern Paaren erreichen lässt, und wiederum, wie sehr die Polbahnen geeignet sind, verwickelte Bewegungen, deren Inbegriff je zwei grosse Schaaren von Kurven wechselvoller Gestalt sind, übersichtlich zu machen.

§. 30.

Allgemeine Aufsuchung der Elementenprofile bei gegebenem Bewegungsgesetz.

Zu den in dem Vorstehenden untersuchten Elementenpaaren waren wir durch Synthese gelangt, indem wir, von der allgemeinen Lösung des Stützungsproblems ausgehend, nach den dort gefundenen Grundsätzen zwangläufige Körperpaare bildeten, worauf wir deren relative Bewegung durch Aufsuchung der Polbahnen ermittelten. Dieser letztere Theil unserer Untersuchung war wieder analytischer Natur. Wir sind aber dabei gleichsam von selbst zu den Mitteln gelangt, eine andere synthetische Aufgabe zu lösen, diejenige nämlich, Elementenpaare für gegebene Gesetze der relativen Bewegung, d. i. für gegebene Polbahnen zu bilden. Denn die Formen, welche für die stetige gegenseitige Stützung der Elemente erhalten werden, sind gegenseitige Umhüllungsformen für eine einzige, und zwar die durch die Polbahnen karakterisirte Relativbewegung der beiden Figuren. Haben wir solche Formen vorhin bloss für die Bedingung der gegenseitigen Stützung gesucht und die Polbahnen dazu ermittelt, so können wir jetzt die Fragestellung auch dahin ändern, dass wir die Polbahnen als gegeben einführen und die sich gegenseitig stützenden Figuren dazu suchen. Diese Aufgabe ist für die Herstellung der Maschinen bei weitem die häufigere, und muss für einfache wie für verwickelte Bewegungsarten vielfach gelöst werden.

Was wir hier zunächst auszuführen haben werden, ist die Erörterung der allgemeinen Verfahrungsweisen. Diese sind man-

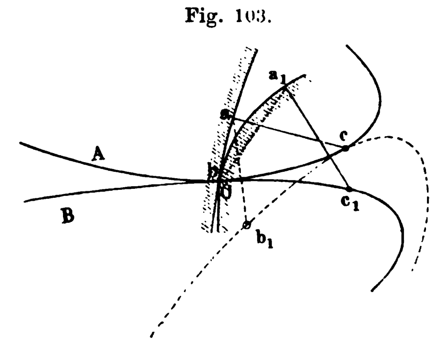
nigfach, lassen sich aber auf die nachstehenden sieben Arten zurückführen beziehungsweise in dieselben spalten, welche vorläufig nur für cylindrische Rollung betrachtet werden mögen.

§. 31.

Erstes Verfahren. Willkürliche Annahme des einen und Aufsuchung des zugehörigen Profils.

Wenn man das Profil des einen Elementes eines Paares, dessen Polbahnen man kennt, willkürlich gewählt hat, so bringe man die Polbahn des unbekannten Elementes zur Ruhe und rolle die des gegebenen darüber hin, indem man die gewählte Profilfigur in sämmtlichen aufeinanderfolgenden Lagen verzeichnet; dann hüllen diese an dem ruhenden Elemente eine Figur ein, welche mit der gegebenen in stetiger Berührung bleibt, also als Profil für das ruhende Element dienen kann, wofern es Stützpunkte in genügender Zahl liefert. Dies kann leicht eintreffen; ja die gefundene Figur kann mehr Stützpunkte als erforderlich liefern. In diesem Falle werden nur solche Theile der Figur auszuführen nöthig sein, welche zur unausgesetzten Stützung ausreichen. Wir haben solches u. a. oben beim Bogendreieck im Quadrat, sowie beim Bogenzweieck im Dreieck wiederholt gesehen, wo die Umhüllungsbogen in den Ecken des Quadrates und des Dreieckes unausgeführt blieben und bleiben durften, ohne dass dadurch die Stützung gefährdet worden wäre. Das Verfahren ist also anwendbar. Nur müssen wir es noch auf den praktischen Boden der Verzeichnungsmethode selbst überführen.

Fig. 103.

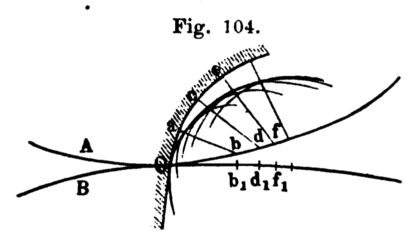


Sind in Fig. 103 A und B die beiden gegebenen Polbahnen, und ist $a\,b\,..$ das zu A gehörige willkürlich angenommene Profil, so ist, wenn wie hier ein Punkt b in die Polbahn A selbst hineinfällt, der zugehörige Berührungspunkt O der Polbahn B schon ein Punkt des zu suchenden Profils. Um einen zweiten Punkt desselben, z. B. denjenigen,

welcher mit a zusammentreffen soll, zu bestimmen, ziehen wir in a eine Normale ac.. zu dem gegebenen Profil. Sie schneide in c die zugehörige Polbahn A. Dann muss, wenn die Polbahn A so weit auf B gerollt ist, dass c Berührungspunkt, d. i. Pol geworden ist, der gesuchte Kurvenpunkt um die Strecke ac vom Pol abstehen, weshalb wir das Normalenstück ac den Polabstand des Punktes a nennen wollen. Zugleich befindet sich dann der jetzt in b liegende Punkt von B in einem leicht bestimmbaren Abstand von a. Wir erhalten denselben, wenn wir B in die Lage $b_1 c$, welche der Berührung bei c entspricht, bringen, indem wir nämlich den Polbahn-Bogen bc_1 auf bc rollen, also Bogen bc_1 = Bogen cb_1 = Bogen bc machen. Schlagen wir nun aus c_1 mit der Strecke ca, und aus b mit dem Polabstand $b_1 a$ Kreise, so schneiden diese einander in dem gesuchten Profilpunkte a_1. Auf diese Weise kann die Profilkurve $a_1 b$.. punktweise genau bestimmt werden.

Verzichtet man auf grosse Schärfe, so ist folgendes Annäherungsverfahren (von Poncelet) ausreichend. Man errichtet in mehreren nahe benachbarten Punkten a, c, e.. Normalen, welche bis zur Durchschneidung mit der zugehörigen Polbahn A gezogen werden, sucht darauf an der Polbahn B die den Durchschnittspunkten b, d, f.. zugehörigen Berührungspunkte $b_1 d_1 f_1$. auf, und beschreibt aus ihnen mit den Polabständen ab, cd, ef,.. Kreisbogen. Legt man alsdann an diese eine sie einhüllende Kurve, so nähert dieselbe das gesuchte Profil an.

Fig. 104.



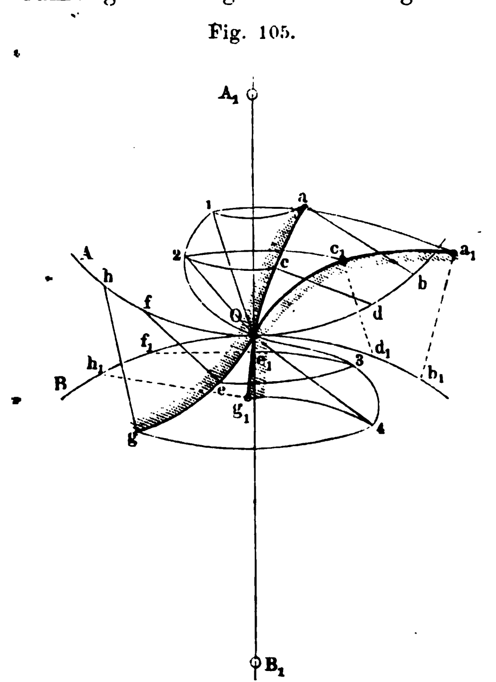
Das vorliegende Verfahren ist dasjenige, welches in seiner Anwendung auf die Zahnräder als allgemeine Verzahnung bekannt ist. Dort sind die Polbahnen gewöhnlich Kreise, was Vereinfachungen ermöglicht. Ein für kreisförmige Polbahnen von mir angegebenes Verfahren*) der allgemeinen Verzahnung ist folgendes.

In Fig. 105 (a. f. S.) ist $acOeg$ das gegebene Profil, A die aus A_1 beschriebene, zugehörige kreisförmige Polbahn, B die kreisförmige Polbahn des anderen Elementes, aus B_1 beschrieben. Nach Ziehung der Normale ab zu einem Profilpunkt a wird der

*) Zuerst veröffentlicht in meinem „Konstrukteur" II. Auflage, 1865.

Punkt 1 gesucht, in welchem sich a befindet, wenn daselbst Berührung oder sogenannter Eingriff mit dem noch unbekannten Profil stattfindet; wir nehmen dabei an, dass beide Polbahnen sich um ihre Mittelpunkte A_1 und B_1, die in der Zeichnungsebene festliegen, drehen. Der Eingriffpunkt 1 liegt nothwendig auf einem Kreise aus A_1 vom Halbmesser $A_1 a$, und einem zweiten aus dem Pole O mit dem Polabstand ba beschrieben, da im Augenblick des Eingriffes die Normale ab durch den Pol O gehen muss. Inzwischen hat B mit seinem Umfang einen Bogen $O b_1$ durchlaufen, welcher $=$ dem Bogen $O b$ ist. Der zu a gehörige neue Profilpunkt a_1 muss also auf

Fig. 105.

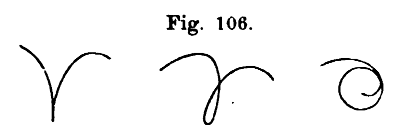


einem Kreise aus B_1 vom Halbmesser $1 . B_1$, und einem anderen aus b_1, beschrieben mit $O . 1$ liegen. Entsprechend werden die Eingriffpunkte 2, 3, 4 .. und die zugehörigen Profilpunkte $c_1 e_1 g_1 \ldots$ aufgefunden. Die Folge der Punkte 1, 2, 3, 4, liefert eine Linie, die sogenannte Eingrifflinie, auf welcher der Eingriffpunkt gleichsam wandert. Die Verbindung der Eingriffpunkte mit dem Pol O liefert die jeweilige Richtung der Stütznormale, mithin auch der durch die Elementenprofile aufeinander ausgeübten Kraft.

Das Verfahren, von welchem wir hier drei Anwendungsformen besprochen haben, kann Profile der mannigfachsten Gestalt liefern, darunter auch solche, welche sich für die praktische Ausführung wenig oder gar nicht eignen. Vor allem werden Kurven, welche Spitzen, Schleifen, sehr enge Spiralen und dergleichen haben, siehe Fig. 106, gewöhnlich ungeeignet sein; sie sind nicht brauchbar, obwohl sie geometrisch richtig sind, d. h. die gestellten Forderungen wegen der stetigen Stützung bei dem gegebenen Polbahnen-

paar erfüllen. Ergeben sich solche unbrauchbare Profilkurven, so wird man genöthigt sein, eine andere passendere Annahme für das gegebene Profil zu machen, also versuchsweise vorzugehen. Somit erfährt die Willkürlichkeit in der Annahme des ersten Profils eine Einschränkung. Eine andere entspringt dem Umstande, dass solche Profiltheile nicht geeignet sind, deren Normalen die Polbahn im Pol unter einem zu grossen Winkel schneiden, z. B. wie die Normale $O1$ in Fig. 105, indem dabei starke schädliche Reibungen, ja völlige Einklemmungen entstehen können. Endlich sind solche Profiltheile gänzlich unbenutzbar, deren Normalen gar nicht durch die Polbahn gehen, demnach auch niemals Stütznormalen sein können. So müssen also bei Uebertragung des Verfahrens in die angewandte Kinematik noch besondere Ausscheidungen der unzweckmässigen und unbrauchbaren Annahmen der freigewählten Profile vorgenommen werden.

Fig. 106.



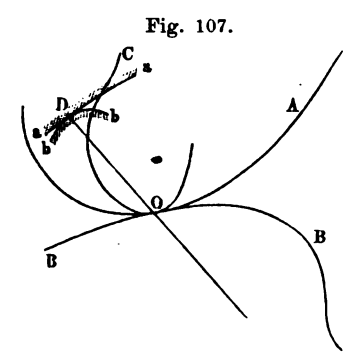
§. 32.

Zweites Verfahren. Hilfspolbahnen.

Während das erste Verfahren die Elementenprofile einzeln lieferte, werden bei dem folgenden alle beide Profile zugleich den Bedingungen der stetigen Stützung entsprechend erhalten.

A und B Fig. 107 seien wieder zwei zusammengehörige Polbahnen, in O berührend. Wir legen an beide im Punkte O eine dritte Kurve C, welche von solcher Form ist, dass sie auf den beiden gegebenen Polbahnen rollen kann, und lassen sie bei der Bewegung dieser beiden mitrollen, so zwar, dass sie dieselben stets im Pol berührt, dass also der Pol auch in ihr wandert. Dann beschreibt ein mit ihr fest verbundener Punkt D je einen Rollzug

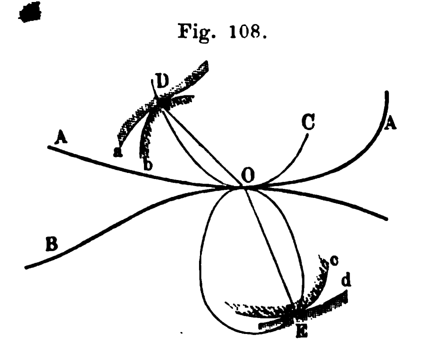
Fig. 107.



(Roulette) gegen die Bahnen A und B. Die beiden entstehenden Rollzüge $aD\ldots$ und $bD\ldots$ haben immer den beschreibenden Punkt D sowohl, als die Normale OD gemein. Sie können demnach als Elementenprofile dienen, indem ihre gemeinschaftliche Normale stets durch den Berührungspunkt der Polbahnen geht. Ihre Brauchbarkeit hängt von denselben Bedingungen, welche wir im vorigen Paragraphen ins Auge fassten, ab.

Die zu Hilfe genommene Polbahn C wollen wir Hilfspolbahn nennen. Liegt der beschreibende Punkt D auf der Hilfspolbahn selbst oder noch innerhalb derselben, so bleiben die entstehenden Rollzüge a und b stets je zu einer Seite der zugehörigen Polbahnen A und B; es bleibt dann auf alle Fälle noch Raum auf den Gegenseiten, um dort ebenfalls solche Rollzüge als Profilkurven anzubringen. Man kann deshalb dort das Verfahren wiederholen, nämlich eine zweite Hilfspolbahn, die der vorigen gleich oder auch von ihr verschieden ist, zur Begrenzung zweier neuen Rollzüge, c und d, Fig. 108, anwenden.

Fig. 108.



Liegen die beschreibenden Punkte auf den Umfängen der Hilfspolbahnen, so erreichen die erzeugten Rollzüge beide die Polbahnen; man kann demnach den Zug a mit c zu einem Profilstück zusammensetzen, und ebenso b mit d. Wiederholt man das eingeschlagene Verfahren von einer zur anderen Stelle jeder der Polbahnen, so kann man die erhaltenen Profile als solche eines zahnförmigen Vorsprunges des betreffenden Elementes benutzen. Eine regelmässige Aufeinanderfolge solcher Vorsprünge und dazwischen bleibender Lücken ist bei den Zahnrädern in allgemein bekannter Anwendung. Dort heisst der Polbahnabschnitt, welcher zwischen homologen Punkten benachbarter Zähne liegt, die Theilung, die Polbahn selbst der Theilriss, oder, wenn kreisförmig, Theilkreis *). Als Hilfspolbahnen benutzt man Kreise (die sogenannten Radkreise). Die Zähne müssen so grosse Stücke der Rollzugprofile an sich tragen, dass die Stützung keine Unter-

*) Vergl. §. 8.

brechung erleidet; die Stücke müssen wenigstens von solcher Grösse sein, dass die Stützung bei jedem Zahne der Rollung der Polbahn um eine Theilung entspricht, oder, wie man sich ausdrückt: der Eingriff muss wenigstens durch eine Theilung dauern.

Bei den Zahnrädern für cylindrische Axoide, den Stirnrädern, hat man sich nachgerade die weitgehende Forderung gestellt, die Zahnprofile so zu gestalten, dass alle Räder von gleicher Theilung richtig miteinander arbeiten können, d. h., dass die Zahnprofile einander stets eine solche Bewegung ertheilen, dass die zugehörigen Polbahnen (Theilrisse) Kreise werden. Man nennt so eingerichtete Zahnräder Satzräder, da die gleichgetheilten Räder einen Satz bilden, aus welchem man zwei beliebige Räder herausheben und zu einem Paar vereinigen kann. Es scheint, dass Willis der erste gewesen ist*), der auf diese praktisch so werthvolle Aufgabe hingewiesen, und eine Lösung**) angegeben hat. Von dem allgemeinen Standpunkt aus, den wir hier erreicht haben, und bei welchem uns die Zahnräder nur als Beispiele dienen, ist leicht zu übersehen, dass die Aufgabe durch Anwendung kongruenter Hilfspolbahnen, welche wie in Fig. 108 einander gegenübergestellt werden, zu lösen ist.

Die Zahnräder sind es gewesen, welche schon früh die Geometer auf die Anwendung der Rollzüge als Elementenprofile hinlenkten. Camus sprach 1733 in einer wenig gekannten Abhandlung den Grundsatz völlig klar aus, wie Willis erforscht hat[20].

Der ihm vorausgehende Lahire hat denselben augenscheinlich schon benutzt; er selbst verweist auf den noch früheren Desargues (1593 bis 1662), der schon epicykloidisch profilirte Zahnräder***) gemacht und somit dem als Erfinder der cykloidischen Verzahnungen oft zitirten Römer (1664 bis 1710) lange vorausgieng.

Die Methode der Profilirung der Elemente durch Rollzüge steht in Bezug auf die Uebersichtlichkeit der Resultate weit über dem vorigen Verfahren, ja sie schliesst dasselbe in gewisser Beziehung in sich, weil man das zum voraus angenommene Profil des ersten Verfahrens als durch eine Hilfspolbahn erzeugt

*) 1837. Transactions of Civil-Engineers V. II. S. 89.

**) Die Verzahnung mit zwei durch gleichgrosse Kreise erzeugten Cykloiden; siehe in meinem Konstrukteur die Radlinienverzahnung für Satzräder.

***) Siehe Chasles, Geschichte der Geometrie, (Sohncke) S. 83.

ansehen kann. Das hinzugesuchte zweite Profil ist deshalb ein Rollzug eben derselben Hilfspolbahn, welche bei dem ersten Verfahren als Erzeugende gedacht werden kann, indessen unaufgesucht bleibt.

Der hier zur Anwendung gekommene, für die Kinematik sehr wichtige Satz von der Erzeugbarkeit der Kurven als Rollzüge wurde ebenfalls schon von Lahire ausgesprochen [21]), welcher Geometer es auch gewesen ist, der die Bezeichnung Roulette einführte. Man hat die bezüglichen Methoden und Einzel-Lehrsätze bisher weniger ausgebildet, als sie es verdienen. Für das im vorigen Paragraphen beschriebene Verfahren ist die Aufsuchung der Hilfspolbahn zwar interessant, aber für das Resultat unnöthig, überhaupt das erste Verfahren stets brauchbar und praktisch, wo es sich um die Erzielung eines vereinzelten, nicht von vielen anderen abhängig zu machenden Ergebnisses handelt.

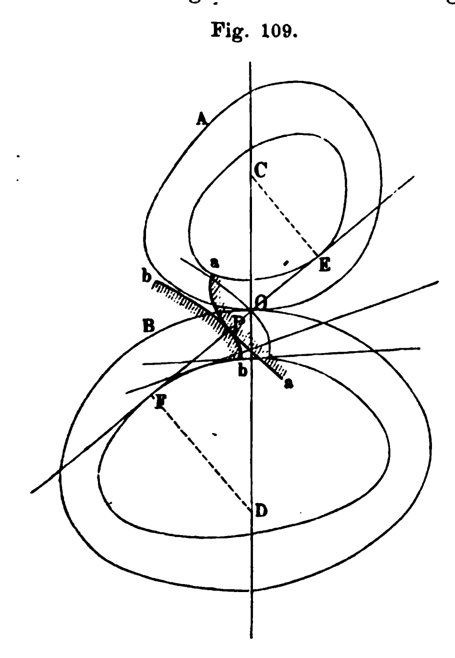
§. 33.

Drittes Verfahren.
Sekundäre Polbahnen als Erzeugende der Profile.

Wir haben oben im zweiten Artikel, §. 9, die Anwendung sekundärer Polbahnen an Stelle der eigentlichen primären besprochen, und gefunden, dass mittelst derselben mitunter Aufgaben leicht gelöst werden können, die sonst Schwierigkeiten machen, oder dass man die sekundären Polbahnen je nach Umständen neben den primären und abwechselnd mit ihnen gebrauchen könne. Unter denselben bietet sich eine Gattung als sehr brauchbar zur Erzeugung von Elementenprofilen dar. Es sind diejenigen, bei welchen zwei Kurven und eine sie berührende Gerade zur Darstellung der Bewegung gebraucht werden. Solche sekundäre Polbahnen werden z. B. erhalten, wenn man durch die Punkte der beiden primären Polbahnen A und B, Fig. 109, Sekanten unter konstantem Winkel gegen die Kurventangente zieht; die von den Sekanten eingehüllten Kurven, von einer Geraden berührt, welche auf ihnen rollt, bilden mit der Geraden zusammen sekundäre Polbahnen. Wenn nämlich C und D die Krümmungsmittelpunkte zu den in O sich berührenden Elementen der Polbahnen sind, so verhalten sich die Lothe CE und DF wie die Stücke CO und OD; bei rollender

Bewegung der Geraden FE ruft diese mithin dieselben kleinsten Winkeldrehungen in den beiden Figuren hervor, wie die Rollung der Polbahnen. Lässt man nun irgend einen Punkt P der Geraden gegen A wie gegen B eine Kurve beschreiben — $a\,P$ und $b\,P$ in Fig. 109 — so haben diese den Voraussetzungen nach stets eine gemeinschaftliche durch den Pol O gehende Normale in der Erzeugenden FE selbst. Somit können die beiden Kurven als Profilstücke für das zu bildende Elementenpaar dienen. In dem besonderen Falle, dass die primären Polbahnen A und B kreisförmig sind, werden es auch die beiden Kurven E und F; die beschriebenen Profilkurven $a\,P$ und $b\,P$ werden dabei Kreisevolventen. Bei den Zahnrädern wird dies Verfahren, welches die sogenannte Evolventenverzahnung liefert, vielfach angewandt. Satzräder werden erhalten, wenn für den ganzen Rädersatz der Winkel FOD konstant gemacht wird.

Fig. 109.



Die Profilkurven $a\,P$ und $b\,P$ sind im vorliegenden Falle Rollzüge, entstehend durch Rollung einer Geraden auf den beiden Kurven E und F. Sie müssen sich aber dem Frühern nach auch als Rollzüge für die Basisfiguren A und B darstellen lassen. Für kreisförmige Polbahnen wird die Hilfspolbahn, welche die Evolvente $a\,P$ durch Rollung auf dem Kreise A und die Evolvente $b\,P$ durch Rollung in dem Kreise B mit einem und demselben beschreibenden Punkte erzeugt, eine logarithmische Spirale *). — Wenn die mittlere Kurve in der Polbahnen-Terne keine Gerade ist, so haben die von ihren Punkten beschriebenen Rollzüge keine gemeinschaftliche

*) Es lässt sich dies unschwer übersehen. Siehe die Beweisführung u. a. bei Willis a. a. O. S. 92, eine andere bei Haton, Mécanismes, S. 101.

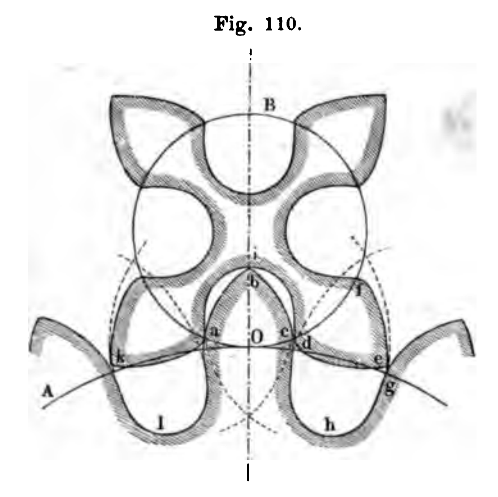
durch den Pol gehende Normale, sind also nicht als Profilkurven geeignet.

§. 34.

Viertes Verfahren.
Punktbahnen der Elemente als Elementenprofile.

Bei dem zweiten der besprochenen Verfahren können die Hilfspolbahnen aufs mannigfachste in der Form abgeändert werden. Eine besondere Abänderung ist diejenige, bei welcher die Hilfspolbahnen in die eigentlichen Polbahnen selbst übergehen. In diesem Falle beschreibt die Hilfspolbahn in der einen Polbahn keine Kurven mehr, sondern jeder beschreibende Punkt erzeugt dort auch nur wieder einen Punkt; gegen die andere Polbahn dagegen beschreibt er irgend eine Punktbahn. Führt man letztere als Elementenprofil aus, so hat dasselbe zusammen zu wirken mit einem Punkt an dem anderen Elemente. Bei den Zahnrädern kommt diese Profilirungsmethode zur Anwendung. Ich habe die betreffenden Verzahnungsarten anlehnend an die Erzeugungsweise der Zahnprofile Punktverzahnungen genannt*). Fig. 110 zeigt beispielsweise einen Punktverzahnungseingriff. Die beiden Hilfspolbahnen sind mit den beiden kreisförmigen Polbahnen A und B zusammenfallend angenommen; ab und bc Punktbahnen — hier Epicykloiden — beschrieben von den Punkten a und c des Kreises B, de und ef Epicykloiden, beschrieben durch die Punkte d und g des Kreises A. ghd Trochoide (verlängerte Epicykloide), beschrieben durch den Punkt e des Rades B, aid Trochoide, von dem

Fig. 110.



*) Siehe meinen Konstrukteur, II. Aufl. S. 262, III. Aufl. S. 422.

Punkte b des Rades A beschrieben. Es findet hier gleichzeitig Berührung in a, b und c statt; die Normalen dieser Stützpunkte gehen sämmtlich durch den Pol O; nach kleiner Rollung rechts oder links tritt auch Punkt e mit gh oder k mit al in Berührung.

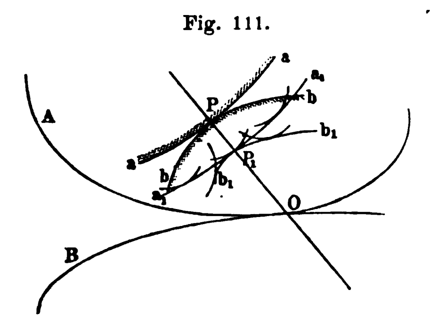
Leicht wird man auch dazu veranlasst, diese mit einer anderen Profilirungsmethode zu mischen; bei den Zahnrädern geben die sogenannten gemischten Verzahnungen Beispiele hierzu ab.

§. 35.

Fünftes Verfahren. Parallelen oder Aequidistanten von Rollzügen als Profile.

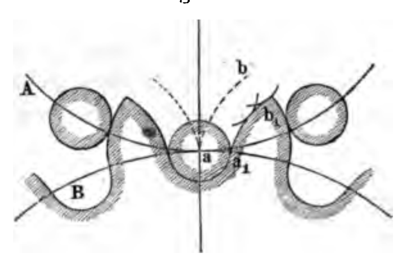
Hat man für zwei Polbahnen A und B auf irgend eine der bisher besprochenen Methoden die Profile aP und bP ermittelt, und beschreibt aus dem Krümmungsmittelpunkt zu dem Elemente von aP in P einen Kreis mit dem Krümmungshalbmesser vermehrt um ein Stück PP_1, und aus dem Krümmungsmittelpunkt des berührenden Kurvenelementes einen Kreis mit dem Krümmungshalbmesser vermindert um dieselbe Grösse PP_1, so berühren sich die beiden Kreise auf der Normalen PP_1O, haben also mit den elementaren Bögen in P die durch den Pol O gehende Normale gemein. Dieses Verfahren auf alle übrigen Punkte der beiden Profilbogen ausgedehnt liefert zwei neue Profilbogen a_1P_1 und b_1P_1, welche Aequidistanten oder Parallelen der zuerst gegebenen Kurven sind, und ebenfalls als Elementenprofile dienen können. Dies liefert eine neue grosse Mannigfaltigkeit von Profilformen, bei welchen nur die Bedingungen für die Brauchbarkeit, die wir in §. 31 besprachen, einschränkend sind. Mitunter sind die Aequidistanten sehr vortheilhaft; so in dem Falle, wo sie die punktförmigen Profile vertreten sollen. Statt des Punktes liefern sie einen Kreisbogen oder einen vollen Kreis als Profillinie. Angewandt ist dies u. a. bei den sogenannten Triebstockverzahnungen, welche früher sehr

Fig. 111.



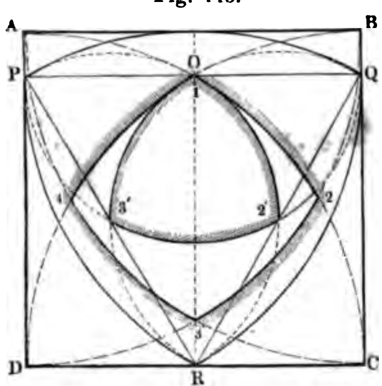
gebräuchlich waren, auch heute noch gelegentlich benutzt werden. Fig. 112 gibt ein Beispiel. Statt des Punktes a und der Epicykloide $a\,b$ kommen der Kreis vom Halbmesser $a\,a_1$ und die Aequidistante $a_1\,b_1$ der Epicykloide $a b$ zur Verwendung.

Fig. 112.



Als weiteres Beispiel sei hier auf anderem Wege als früher die Erzeugung des oben schon besprochenen Bogendreieckes im Quadrat besprochen. In Fig. 113 ist $O\,2'\,3'$ die Polbahn des einen, $O\,2\,3\,4$ die des anderen Elementes eines höheren Elementenpaares, dessen Profile wir erst bestimmen wollen. Wir wählen zunächst die Methode der Punktverzahnung, indem wir in $O\,2'\,3'$ eine dieser Figur gleiche Hilfspolbahn hineinlegen. Auf dem den Bogen $2'\,3'$ halbirenden Fahrstrahl $O\,3$ werde ein beschreibender Punkt R in dem Schnittpunkt der Bögen $O\,2'$ und $O\,3'$ gewählt.

Fig. 113.

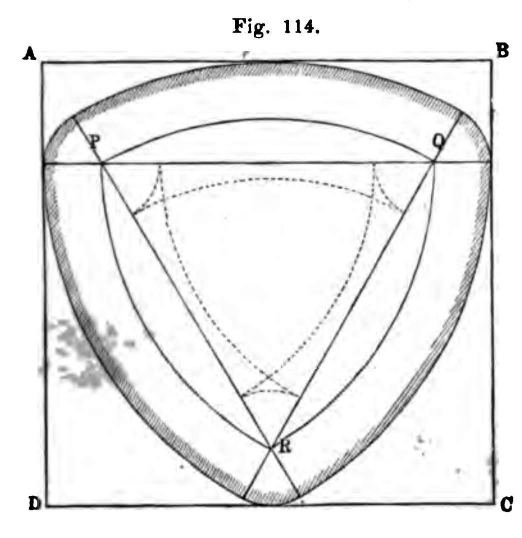


Gegen die dreieckige Polbahn beschreibt R einen Punkt, gegen die andere Polbahn aber nach rechts wie nach links eine Gerade als Umfangspunkt des kleineren Cardanischen Kreises im grösseren; $R\,C$ und $R\,D$ sind diese Geraden, beziehungsweise deren Verlängerungen. Vollziehen wir die weitere Rollung der inneren Polbahn in der äusseren, so erhalten wir alle vier Quadratseiten als Profile für das äussere Element. Es fehlt nur noch die Stützung für das innere. Zu dem Ende wiederholen wir zunächst die Annahme je eines ganz homologen beschreibenden Punktes für die beiden anderen Seiten der inneren Figur; es sind die Punkte P und Q, welche wir dadurch erhalten, und welche ebenfalls die Quadratseiten auf deren mittlerer Erstreckung durchlaufen. Sodann aber ziehen wir noch zu R, P und Q behufs der Stützung an den gegenüberliegenden Seiten die aequidistanten Bogen $P\,Q$, $Q\,R$ und $P\,R$, und erhalten damit auch das Bogendreieck.



Nichts hinderte uns übrigens, die Aequidistanz grösser zu wählen, als wir gethan, z. B. $1^1/_6$ mal so gross als die Sehnenlänge PQ, wie in der folgenden Figur geschehen ist. Die Form fällt insofern von der vorhergehenden abweichend aus, als nun auch in die Scheitelwinkel zu den Radien PR, QR und PQ aequidistante Bogen zu setzen sind. Das Resultat wird praktisch recht vortheilhaft sein, da die scharfen Kanten, die bei P, R und Q früher vorkamen, nun weggeschafft sind. Wir haben von diesem Verfahren auch bereits oben, Fig. 5 bis 8, Tafel III, Gebrauch gemacht. Wählt man die Aequidistanz kleiner als PQ, so entstehen unbrauchbare Formen, wie die in die Figur eingetragene Punktirung zeigt.

Fig. 114.



Ein drittes Beispiel der Anwendung aequidistanter Profile liegt in dem schon weiter oben besprochenen höheren Elementenpaar vor, welches Fig. 115 darstellt. Hier ist das Bewegungsgesetz in

Fig. 115.



der Form gegeben, dass zwei ausgezeichnete Punktbahnen, die geradlinigen Wege der Punkte b und c bekannt sind. Die Aequidistanten zu diesen geraden Bahnen liefern die Profile der prisma-

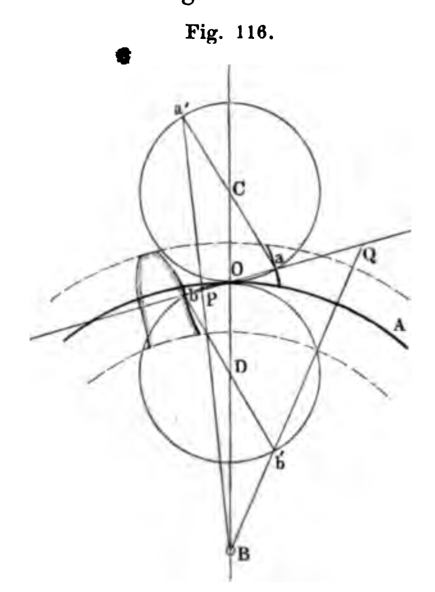
tischen Schlitze in dem Stück *aadd*, während die Aequidistanten der beiden Punkte die Kreisprofile der Zapfen bei *b* und *c* ergeben. Die Polbahnen brauchten wir hier für die Zwecke der Paarbildung gar nicht einmal zu kennen. Welche Gestalt übrigens dieselben haben, geht aus dem Früheren, namentlich aus §. 22 hervor. Es sind die Cardanischen Kreise, beziehungsweise Bogen von solchen.

§. 36.

Sechstes Verfahren. Annäherung gekrümmter Profile durch Kreisbogen. Willis'sche Methode.

Wenn die Elementenprofile Kurven von wechselnder Krümmung sind, so ist ihre Herstellung mitunter schwierig, ihre Ersetzung durch Kreisbogen erwünscht. Dies kann in allen den Fällen geschehen, wo man sich mit Annäherungen begnügen darf, und wo nur kleine Stücke jener Kurven gebraucht werden, was z. B. bei Zahnrädern meistens der Fall ist. Als Ersatz der Kurvenstücke werden passend gewählte Stücke von deren Krümmungskreisen benutzt; es sind zur Auffindung der geeigneten Kreisbogen mancherlei Verfahrungsweisen im Gebrauch. Für die Zahnräder mit cykloidischen Zahnprofilen, welche zugleich Satzräder sein sollen, habe ich*) z. B. folgendes Verfahren empfohlen. *A*, Fig. 116, kreisbogenförmige Polbahn, d. i. Theilkreis des zu verzahnenden Rades, *B* Mittelpunkt desselben, *C* und *D* Mittelpunkte zweier gleich grossen Hilfskreise (Hilfspolbahnen) zur Erzeugung der Cykloidenbogen bei *a* und *b*, welche durch Kreise

Fig. 116.

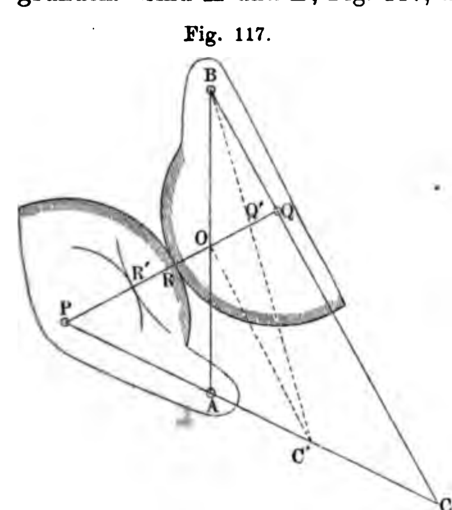


*) In meinem Konstrukteur, II. Aufl. S. 258, III. Aufl. S. 419.

ersetzt werden sollen; sie haben $^7/_8$ der Theilung des Rades zum Halbmesser. O Pol der Kreise A, C und D. Mache die Winkel OCa und $ODb = 30^\circ$, suche die Gegenpunkte a' und b' der Umfangspunkte a und b in den Hilfskreisen auf; lege durch a und b eine Gerade, welche den Annahmen nach durch den Pol O geht, also Normale zu den Cykloiden-Elementen in a und b sein würde, und verbinde die Gegenpunkte a' und b' mit dem Zentrum B, so schneiden die Verbindungslinien Ba' und Bb' die Normale in den gesuchten Krümmungsmittelpunkten P und Q. Die vom Theilkreis bis zum Zahnscheitel und zur Zahnsohle gezogenen Kreisbogen werden symmetrisch wiederholt und zum Zahnprofil zusammengerückt, wie die Zeichnung andeutet.

Eine beachtenswerthe Methode hat Willis angegeben. Er suchte die zur Profilirung der Radzähne geeigneten Kreisbogen unmittelbar, d. h. ohne Einführung von Hilfspolbahnen und Rollzügen zu bestimmen. Seine Verfahrungsweise, mit welcher er an Andeutungen von Euler anschloss, ist in Kürze wie folgt zu begründen. Sind A und B, Fig. 117, die Drehpunkte zweier Körper, welche einander durch die kreisförmigen, aus P und Q beschriebenen Profile, die einander in R berühren, umtreiben sollen, so ist der Schnittpunkt O der beiden Zentralen PQ und AB ein Punkt der beiden zu A und B gehörigen Polbahnen (vergl. §. 8). Dieselben haben das Winkelgeschwindigkeitsverhältniss $OB:OA$. Soll dieses auf kurze Zeit nahe konstant bleiben, so muss PQ beim Fortschreiten möglichst wenig aus O heraustreten.

Fig. 117.

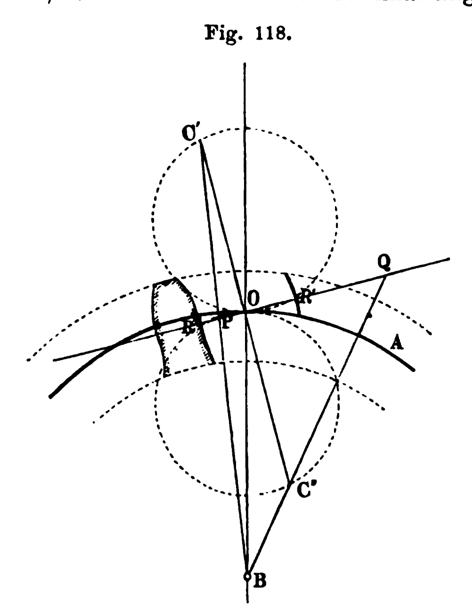


PQ dreht sich aber gegen AB momentan um den Pol C, der auf den Verlängerungen der Radien AP und BQ liegt, und wird momentan wirklich durch O gehen, wenn C auf eine auf PQ in O errichtete Senkrechte fällt, also z. B. nach C' in unserer Figur. Demnach ist nach getroffener Wahl des einen der Mittelpunkte, z. B. P, der andere sofort zu finden, indem er auf dem Schnitt-

punkte von PQ mit der Verbindungslinie BC' liegen muss. Man erhält auf diese Weise in der Strecke PQ, beziehungsweise PQ' die Summe der gesuchten Krümmungshalbmesser, kann aber den Berührungspunkt R selbst noch beliebig verlegen, z. B. nach R' oder auch nach R'', was auch mit dem in §. 35 Besprochenen übereinstimmt.

Um bei diesem eleganten Verfahren auch noch die Bedingung für die Satzräder zu erfüllen, wählt Willis drei Grössen konstant: die Strecke OC', die Strecke OR und den Winkel POA, welchen er $= 75^0$ macht. Sollen die Zähne nach nur einem Kreisbogen profilirt werden, so setzt er $OC' = \infty$, $OR =$ Null, worauf die Kreisbogen Annäherungen an Evolventenbogen werden (vergl. §. 33). Sollen zwei S-förmig zusammentretende Kreisbogen benutzt werden, so wird das Verfahren zweimal angewandt, Fig. 118, und dabei $OR' = OR'' =$ der Hälfte der Theilung, und $OC' = OC''$ so gross genommen, dass das zwölfzähnige Rad innerhalb des Theilkreises gerade Flanken bekommt. Dies wird erreicht, wenn $OC' =$ dem $\frac{6}{\pi} \sin 75^0$fachen Theil der Theilung genommen wird. Bei näherer Betrachtung ergibt sich diese Konstruktion als identisch mit der in Fig. 116 dargestellten, wenn die drei Konstanten entsprechend gleich genommen werden. $R'C'$ und $R''C''$ sind die Durchmesser unserer obigen Hilfskreise, die hier des Vergleichs halber punktirt eingetragen sind; die Punkte C' und C'' entsprechen den obigen Gegenpunkten a' und b', P und Q sind gefunden wie dort. Willis selbst hat die Uebereinstimmung übrigens selbst sofort erkannt*).

Fig. 118.



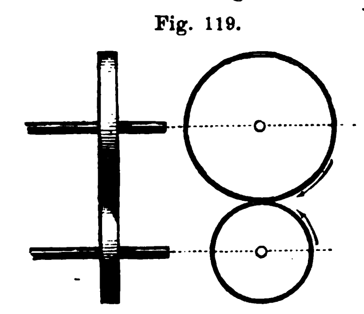
*) Siehe Willis, Principles I. Aufl., S. 107, II. Aufl., S. 142.

§. 37.

Siebentes Verfahren. Die Polbahnen selbst als Elementenprofile.

Lässt man die im zweiten Verfahren angewandten Hilfspolbahnen als geschlossene Figuren kleiner und kleiner werden, bis sie zuletzt in Punkte übergehen, so beschreiben sie beim Rollen die beiden Polbahnen selbst. Auch diese können als Elementenprofile gebraucht werden, wenn nämlich die Axoidcylinder so fest aufeinander gepresst werden, dass die an der Berührungsstelle entstehende Reibung das Gleiten hindert, sie also auf einander zu rollen zwingt. Es ist dies der einzige Fall, wo die Elementenprofile eine rein rollende Bewegung gegeneinander haben. Kreisförmige Polbahnen von konstanter Grösse ergeben cylindrische Räder, sogenannte Reibräder, Fig. 119. Die Anwendungen sind nicht selten, die wichtigsten und grossartigsten unter ihnen die Eisenbahnräder. Auf die Eigenthümlichkeit wegen der die Axoide aneinanderpressenden Kraft kommen wir im nächsten Kapitel ausführlicher zurück.

Fig. 119.



§. 38.

Verallgemeinerung der besprochenen Verfahrungsweisen.

In dem Vorstehenden haben wir stets die Einschränkung gebraucht, Axoide für allgemeine cylindrische Rollung zu Grunde zu legen; doch lassen sich die Verfahrungsweisen auch auf die Fälle der nichtcylindrischen Axoide übertragen. Leicht gelingt dies bei den Axoiden mit konischer Rollung. Grössere Schwierigkeiten entstehen indessen bei den schrotenden und den hyperbo-

lisch rollenden Axoiden (vergl. §. 13). Hier machen selbst die einfacheren Bewegungsgesetze grosse Schwierigkeiten in der theoretischen Betrachtung, wie namentlich hinsichtlich der praktischen Ausführung. Es ist Sache der angewandten Kinematik, auf die wichtigeren Fälle soviel wie nöthig einzugehen. Im allgemeinen muss man gestehen, dass die Elementenprofile für höhere Axoide, seien es auch z. B. bloss solche für hyperboloidische Zahnräder, in der Herstellung noch recht schwer fallen — ein Umstand, der zu bescheidener Auffassung des bis jetzt Geleisteten mahnt. Die junge Industrie der Nähmaschinen, und zum Theil auch der groben landwirthschaftlichen Maschinen hat empirisch, wohl ohne sich der Eigenthümlichkeit ihrer Richtung recht bewusst zu werden, sehr erfreuliche Fortschritte in der Verwendung der höheren Axoide gemacht, erstere auch in vorzüglicher Technik, indem sie die genaue Erzeugung verwickelter Umhüllungsflächen bereits bedeutend ausgebildet hat.

Die Beispiele, welche oben angeführt wurden, waren grossentheils, obwohl nicht alle, dem Gebiete der gewöhnlichen Zahnräder entnommen, und deshalb denjenigen Lesern, welche die Maschinentechnik zum Gegenstand wissenschaftlichen Studiums gemacht haben, mehr oder weniger bekannt oder gar geläufig. Dennoch verdienten die Verfahrungsweisen hier neue Aufmerksamkeit, weil wir im vorliegenden Falle sie in dem ganz besonderen Lichte der allgemeinsten ihnen zu Grunde liegenden Gesetzmässigkeit anschauten. Es handelte sich nicht um Verzahnungsregeln, sondern um deren Zugehörigkeit zu einem grösseren Prinzip. Wir fanden hier bei ganz kleiner Erweiterung der Auffassung Dinge ganz allgemein brauchbar, welche gewöhnlich als eng begrenzte Regel ausgegeben und aufgefasst werden. Gerade jene Geläufigkeit wird deshalb hoffentlich das Verständniss und die Uebertragung auf den allgemeinen Fall wesentlich erleichtert haben.

Vor allem glaube ich nun vollständig einleuchtend gemacht zu haben, dass die Bildung von Elementenpaaren für jede auch noch so verwickelte Bewegungsart möglich ist, d. h. dass man die den beiden Elementen zu gebenden Profile bestimmen kann. Sodann aber auch, dass in den Fällen der gewöhnlich zu verwirklichenden einfacheren Bewegungsgesetze eine reiche Mannigfaltigkeit der Lösungen vorliegt. Während im vorigen Jahrhundert die bedeutendsten Geometer sich mit besonderen Lösungen vereinzelter Probleme beschäftigten und sie als wichtige Aufgaben ansehen



mussten, hat sich heute eine den weitesten Kreisen erschlossene „Fülle der Gesichte“ eingestellt, welche in ihrer Allgemeinheit sich fast einfacher überschauen lässt, als ehedem der einzelne Fall, und die dabei doch dem praktischen Sinne so reiche Gelegenheit bietet, sich darin zu üben, unter all dem Geprüften das zu behaltende Beste ausfindig zu machen.

Vielleicht muss ich besorgen, manchen meiner Leser durch die vorstehenden Ausführungen ermüdet zu haben, indem ich darin so äusserst langsam, man darf nicht einmal sagen schrittweise, sondern eher punktweise vorgegangen bin und die Schwierigkeiten der Probleme scheinbar eher gesucht als vermieden habe. Es haben sich aber dabei die eigenthümlichen Gesetze, nach denen die zwangläufigen Elementenpaare zu bilden sind, nach und nach vollständig ergeben, und das war ja das gesteckte Ziel. Diese Gesetze sind nicht gerade einfach, nicht auf der flachen Hand liegend; allein sie sind feste, innerhalb der angenommenen Grenzen unerschütterlich geltende, wirkliche Gesetze. Deshalb mag es gut sein, hier einen Augenblick inne zu halten und den Leser noch einmal zurückzuverweisen auf die bisher gebräuchlich gewesenen Auffassungen, die in der Einleitung skizzirt wurden, insbesondere auf die einigermaassen verbreiteten Grundsysteme Laboulaye's, wegen deren ich in der Einleitung noch Erläuterungen versprach.

Fragen wir uns jetzt einmal, was denn Laboulaye's drei Systeme levier, tour und plan, die so sehr den Karakter geometrischer Allgemeinheit an sich tragen, vorstellen. Legen wir uns diese Frage unter Verwerthung der Sachkenntniss, welche wir uns in dem vorstehenden Kapitel zu erwerben versucht haben, vor.

Im ersten System hat der bewegte Körper einen festen Punkt (le corps a un point fixe), im zweiten zwei feste Punkte (le corps a deux points ou une droite fixe), im dritten drei feste oder besser gestützte Punkte (l'obstacle consiste en trois points fixes ou en un plan passant par ces trois points). Zunächst fällt auf, dass im Grunde genommen nicht auf die kinematische Kette, welche unserer Ermittelung gemäss der allgemeinere Inhalt der Maschine ist, sondern auf das Elementenpaar hingearbeitet ist. Denn es wird stets von einem einzigen zu stützenden Körper, nicht von einem ein Ganzes bildenden Systeme von Körpern gehandelt. Gut, schränken wir uns darauf ein, obschon

Laboulaye angibt, dass seine Systeme die Maschine im allgemeinen ausdrücken. Welches Paar hat aber nur einen einzigen festen Punkt? Wir haben oben (§. 5. IV.) gefunden, dass bei nur einem festen Punkte die Bewegung eines Körpers immer eine wesentlich unbestimmte ist, dass ein zwangläufiges Elementenpaar oder eine zwangläufige Kette damit nicht gebildet werden kann. Allerdings aber führt Laboulaye als Beispiel den Hebel an, der eine schwingende Bewegung macht, somit eine Achsendrehung vollzieht. Damit fiele das System „levier" mit unserem niederen Elementenpaare Nr. 2 (§. 15) „Rotationskörper mit seiner Hohlform" zusammen. Allein ein solches Paar verlangt ja nach §. 20 nicht bloss einen, sondern mindestens sechs Stützpunkte! Man könnte hier freilich einwenden, dass jener festgehaltene Punkt des système levier einer geometrischen Achse angehöre, und dass L. dann hätte strenger sagen müssen (oder wollen), dass zwei von den Punkten dieser Achse, welche gleichsam als Idealisirung des Körpers aufzufassen seien, an Aenderungen ihrer Lage gehindert wären, welche zwei Punkte dann in einer Normalprojektion in einen einzigen zusammenfielen. Das kann aber die Meinung nicht sein, denn L. sagt solches von seinem zweiten Systeme, dem système tour, aus, hat also einen derartigen Irrthum nicht begangen; auch spricht er thatsächlich vom Körper, nicht von dessen idealer Darstellung durch eine Achse. Alles dasjenige was nöthig ist, um die beiden Punkte jener geometrischen Achse an Lagenänderungen zu hindern, muss auch, wie wir gesehen haben, am Körper geschehen. Wir wissen, dass dieser eine bestimmte Form haben muss, und dass der passend geformte Körper an mindestens sechs Punkten gestützt werden muss. Handelte sich es um nur einen festzustellenden Punkt, so müsste die Körperform eine Kugel sein, die an mindestens vier Punkten zu stützen wäre, dabei aber eine gezwungene Bewegung auch nur insofern liefern würde, als der Mittelpunkt der Kugel seine Lage nicht ändern könnte; die übrigen Punkte würden dadurch gezwungen, auf Kugelflächen zu verharren, nicht aber verhindert, auf diesen beliebige Bewegungen zu vollziehen.

Nun gut, dann begreift L. wohl unter système levier diejenigen Elementenpaare, welche der sogenannten konischen Rollung (§. 11) gehorchen. Das liesse sich auch hören. Aber dann passt das von ihm angeführte Beispiel, der Hebel, wieder nicht. „Le mouvement d'un point quelconque, appartenant au



levier, sera de nature circulaire, en chaque instant et de plus en général alternatif dans une machine, se produisant le plus souvent dans un plan.“) — Wir sehen, dass es der Definition überall an Klarheit und Sicherheit gebricht. Offenbar handelt es sich um eine dunkle Vorstellung von Elementenpaaren mit schwingender Bewegung, um eine Vorstellung, welche zwar den Anschein von Tiefe und kategorischer Allgemeinheit besitzt und deshalb Anklang auch bei manchen Mathematikern gefunden hat, die man aber durchaus nicht ans Licht ziehen darf, wenn sie nicht alsbald in Staub zerfallen soll, ähnlich jener sagenhaften Bergmannsleiche zu Fahlun.

Nicht anders verhält es sich mit den beiden andern Systemen, tour und plan. Es ist bei allen dreien einestheils nicht vollkommen klar, was in aller Strenge unter point fixe oder plan inébranlable zu verstehen ist, anderntheils, welches untrügliche Merkmal das eine System vom andern unterscheidet. Machen wir nämlich die umgekehrte Probe, und untersuchen einmal, wohin denn bei Laboulaye das eine oder andere der uns bekannt gewordenen höheren Elementenpaare gehöre! Wählen wir das „Bogendreieck im Quadrat“. Von diesem Paar wissen wir zunächst, dass, wenn wir das Quadrat feststellen, bei eintretender Bewegung kein Punkt des Dreiecks jemals festbleibt. Alle bewegen sich. Nach Laboulaye müsste aber doch zum wenigsten ein Punkt ruhend bleiben. Ja, dann wird wohl das Paar zu dem système plan zu rechnen sein, weil die Grundflächen des Dreiecks den Voraussetzungen nach verhindert sind, aus ihren jeweiligen Bewegungs-Ebenen zu treten. Diese Ebenen wären also solche plans inébranlables, wie sie das dritte System als Karakteristik beansprucht. Man könnte allerdings den Sinn des Systemes in dieser Richtung suchen; aber dann gehört ja das Rotationskörperpaar auch zum système plan, während wir es oben doch ganz bestimmt für système tour reklamiren mussten. Wir verlieren also auch hier den Halt und vermissen jedenfalls die Unterscheidungsmerkmale für so wesentlich verschiedene Dinge, deren Unterscheidung doch gerade die Aufgabe der „Systeme“ war und auch zweifellos sein musste.

Doch ich will abbrechen; die Unhaltbarkeit der Laboulaye'schen Auffassung ist einleuchtend. Auch handelt es sich ja hier nicht um eine Kritik Laboulaye's, dem zudem auch andere Schriftsteller ohne schärfere Prüfung gefolgt sind, also derselben Kritik

zu unterliegen hätten. Ich unterschätze deshalb Laboulaye nicht und darf mich dieserhalb auf die Einleitung berufen, wo ich diesem Forscher meine Anerkennung gezollt habe. Um so weniger thue ich dies, als er eigentliche Folgerungen im angewandten Theile seines Werkes aus den Sätzen nicht gezogen hat, Folgerungen, welche nothwendig zu Irrthümern hätten hinleiten müssen. Ich wollte nur zeigen, mit wie unsicheren, gebrechlichen Stützen man das grosse Lehrgebäude einer wahrhaft wissenschaftlichen Kinematik, eines angeblich in sich selbst ruhenden logischen Werkes gestützt hat, oder glaubte stützen zu können. Ich wollte dem Leser nur den greifbaren Beweis noch einmal vorführen, dass und weshalb oben eine unerbittlich strenge, nach allen Richtungen genau eingehende Untersuchung der axiomatischen Sätze zu erstreben war, wenn überhaupt etwas mit denselben geleistet werden sollte.

VIERTES KAPITEL.

UNSELBSTÄNDIGE ELEMENTENPAARE.

---

§. 39.

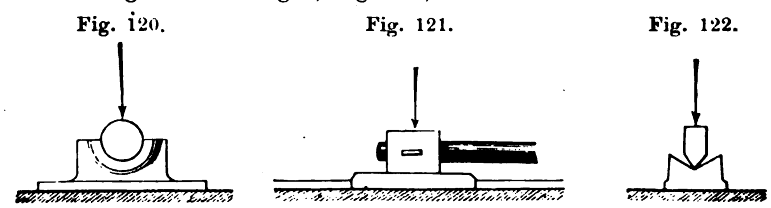
Schliessung von Elementenpaaren durch sensible Kräfte.

Wir haben bei der Untersuchung der niederen wie höheren Elementenpaare bisher vorausgesetzt, dass die gegenseitige Stützung der zu einem Paare vereinigten kinematischen Elemente ganz vollständig stattfinde, d. h. dass jeder der beiden Körper vermöge seiner Widerstandsfähigkeit und der ihm verliehenen Form den anderen zwangläufig umhülle. Diese Voraussetzung haben wir entweder ausdrücklich oder stillschweigend auch bei der Aufsuchung der geeigneten Körperformen geltend gemacht, vermöge deren jeder Störung der beabsichtigten Relativbewegung der beiden Körper seitens einwirkender sensibler Kräfte durch latente Kräfte begegnet wird. Es lässt sich aber unter Umständen von dieser Strenge der Forderung etwas nachlassen, wenn nämlich Vorsorge getroffen wird, dass sensible Kräfte von gewissen Richtungen gar nicht im Paare auftreten. Wenn sich dies herbeiführen lässt, so fällt offenbar die absolute Nöthigung, den Paarschluss ganz selbständig zu machen, weg, indem für die Stützung, welche jenen Richtungen entspricht, körperliche Umhüllung nicht geradezu erfordert wird.

Das Mittel zur Fernhaltung einer sensiblen Kraft von gegebener Richtung besteht aber darin, dass man auf das zwangläufig zu machende Element *a* unausgesetzt eine andere sensible Kraft von der entgegengesetzten Richtung und einer Grösse wirken lässt, welche die der zu erwartenden störenden Kraft übertrifft oder ihr wenigstens gleich ist. Ist also die zu erwartende störende Kraft $= P$, so hat man, um ihre Wirkung zu paralysiren, eine ihr entgegengerichtete Kraft von der Grösse P auf das ihr ausgesetzte Element *a* wirken zu lassen. Gibt man dieser Gegenkraft, welche das Element *a* gleichsam als Stellvertreter des umhüllenden Partner-Elementes *b* stützt, der Sicherheit halber den Werth $P + Q$, so wird *a* im ungünstigsten Falle von der Kraft $P — P — Q$, d. i. Q an die entgegengesetzten Stützpunkte gepresst, dort aber durch die latenten Kräfte des Partners *b* aufgehoben. Die Bedingungen, unter welchen das Gleichgewicht jederzeit zu Stande kommt, sind also allgemein hergestellt. Jene die Störung verhütende Kraft $P + Q$ schliesst gleichsam das in der Richtung $— (P + Q)$ unfertige, ungeschlossen gelassene Elementenpaar; wir wollen sie deshalb eine Schliessungs- oder Schlusskraft nennen. Elementenpaare, welche einer solchen Schlusskraft bedürfen, sind offenbar nicht selbständig, sondern vom Vorhandensein der schliessenden Kraft, oder kürzer vom Kraftschluss abhängig.

Die kraftschlüssigen Paare sind nicht selten in der Maschinenpraxis. Beispiele liefern u. a. die Zapfen und Lager der meisten Wasserräder, bei welchen das bedeutende Gewicht des Rades fast immer jede senkrechte Erhebung des Drehzapfens aus dem ohne Deckel ausgeführten Lager, Fig. 120, verhindert. Ein anderes Bei-

Fig. 120. Fig. 121. Fig. 122.



spiel liefern die Querhäupter grosser liegender Gebläsemaschinen, Fig. 121, deren schwere Kolben und Kolbenstangen das nur unten und seitlich geführte Querhaupt verhindern, sich von der Führungsschiene abzuheben. Die Schneiden der Waagschalen, Fig. 122, werden ebenfalls durch das Gewicht der angehängten Schalen in fortwährender Berührung mit ihren Lagerkerben gehalten. Andere

Beispiele liefern die Drehscheiben der Eisenbahnen; die ganze Scheibe ist daselbst durch ihr eigenes Gewicht und das der aufgesetzten Last in ihrem nach oben völlig freien Lager gehalten. Dasselbe gilt von den Drehzapfen der Uferkrane. Ein häufiges und männiglich bekanntes Beispiel geben endlich die Eisenbahnräder ab. Auch sie sind durch senkrecht gerichtete Schlusskräfte mit ihrem Partner-Elemente, der Schiene, in Berührung gehalten.

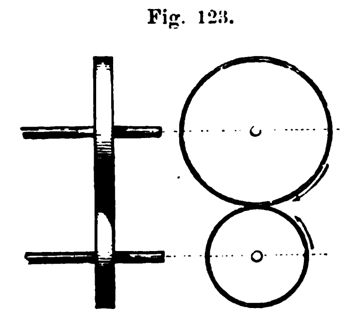
In allen diesen und ähnlichen Fällen bietet sich der Kraftschluss bequem und natürlich dar, und erleichtert die Ausführung oft wesentlich. Indessen ist die hier besprochene nur eine Art seiner Verwendung. Es sind deren noch andere aufzuzählen.

§. 40.

Axoidrollung durch Kraftschluss.

Während in den soeben besprochenen Fällen die Schliessungskraft wesentlich nur die Trennung der unvollständig ausgeführten Elemente zu verhüten hat, gibt man ihr unter Umständen eine noch viel weiter gehende Bestimmung. Diejenige nämlich, durch eine aus ihr abgeleitete Kraftwirkung, die Reibung, die gegenseitige Stützung der Elemente zu vervollständigen. Ein Beispiel liefern die schon im §. 37 besprochenen Reibungsräder, Fig. 123.

Fig. 123.



Bei diesen hat der Kraftschluss nicht bloss die Aufgabe, die beiden Scheiben in Berührung zu erhalten, sondern auch sie so fest gegen einander zu pressen, dass ihre Umflächen bei Uebertragung der gegebenen Tangentialkraft nicht auf einander gleiten, dass mit andern Worten die Axoide, welche hier die Cylindermäntel selbst sind, aufeinander rollen.

Bei strengerem Eingehen auf den Vorgang könnte man bemerken, dass die Schliessungskraft hier die kleinen Rauhigkeiten der Oberflächen in einander presst, worauf dieselben ähnlich Radzähnen aufeinander wirken, während die bedeutende Kraftkomponente, welche in die Richtung der Achsenebene fällt, durch die

Schlusskraft aufgehoben wird. Allein diese Wirkung der Zusammenpressung zweier Körper fasst die Mechanik in dem Begriffe Reibung zusammen; wir haben also bei dieser kurzen Ausdrucksweise stehen zu bleiben. [22])

Die vorliegende Verwerthung des Kraftschlusses kommt ebenfalls häufig vor. Aeusserst wichtig ist ihre Anwendung auf die Treibräder der Lokomotive. Von ihr ist die Entfaltung unseres Eisenbahnwesens garadezu abhängig gewesen, indem man bekanntlich anfänglich den Adhäsionsbetrieb für so illusorisch hielt, dass man an seine praktische Verwendung nicht gehen wollte, vielmehr Elementenpaare mit Profilstützung ausführte. Ich erinnere an die Zahnstange Blenkinsop's und diejenige auf der Liverpool-Manchester-Eisenbahn, die Brunton'schen Stelzen und andere noch weniger praktische Konstruktionen.

Die Erzwingung der Axoidrollung durch Kraftschluss ist wesentlich verschieden von der blossen Schliessung eines nicht vollständig ausgeführten Elementenpaares. Beide Methoden können sowohl einzeln als auch vereinigt vorkommen. Bei den Treibrädern der Lokomotive sind sie vereinigt, bei den Laufrädern aber nicht; hier findet nur Elementenschliessung durch die Schwere statt.

Man könnte beim Eisenbahnwagen die Elementenschliessung durch Hinzufügung eines zweiten Elementenpaares, nämlich einer das Aufsteigen von der Laufschiene verhindernden Schutzschiene mit passendem Gegenstück am Wagen herbeiführen, ohne dass dabei auf die Treibrad-Einrichtung Rücksicht genommen würde. In der That hat auch die junge Rigibahn eine solche Einrichtung. Bei ihr ist die Bewegung des Wagens auf der Bahn nicht mehr kraftschlüssig, sondern mit grosser Annäherung an die Genauigkeit paarschlüssig. Wegen der gewaltigen Steigung der Bahn hat man ebendaselbst die kraftschlüssige Axoidrollung aufgeben müssen, um wieder zum Paarschluss der alten Liverpool-Bahn zurückzukehren.

Wir sehen, dass der Kraftschluss wichtige und zahlreiche Verwendungen findet. Allerdings wohnt ihm eine gewisse Unvollkommenheit bei. Sind die Schlusskräfte nicht ausreichend gross, oder treten unvorhergesehene Störungen ein, so wird die Zwangläufigkeit aufgehoben oder doch zeitweilig unterbrochen. Dennoch aber leistet der Kraftschluss, wie die obigen Beispiele zeigen, dem Maschinenwesen ausgezeichnete Dienste. Er führt uns ausserdem

noch eine ganz besondere Art von Elementenpaaren zu, welche für das Maschinenwesen theilweise von noch grösserer Wichtigkeit sind als die obigen Anwendungen. Wir wollen dieselben im folgenden Paragraphen näher betrachten.

§. 41.

Die bildsamen kinematischen Elemente.

Die Widerstandsfähigkeit, welche wir als Grundeigenschaft derjenigen Körper erkannten, aus denen die Maschine zu bilden ist, haben wir bis hierher den kinematischen Elementen in der Weise zugeeignet gedacht, dass sie die vollständige Starrheit oder gegenseitige Unbeweglichkeit der kleinsten Theilchen vertrat. Wir nahmen dabei an, dass Material und Abmessungen jedes Elementes hierfür passend gewählt seien, wozu die Maschinenbaukunde die Vorschriften liefert. Die Zulässigkeit des Kraftschlusses lehrt uns aber, dass auch Körper, welche nicht als Vertreter starrer Körper geeignet sind, zur Elementenbildung dienen können. Wählen wir nämlich solche Körper, welche zwar nicht in allen, aber doch wenigstens in einer Richtung sensiblen Kräften bis zur Annäherung an die Unveränderlichkeit der Molekularlage widerstehen können, und wenden sie unter solchem Kraftschluss, der ihrer Widerstandsfähigkeit entspricht, an, so werden sie des ferneren gerade so wirken können, wie Körper von allseitiger Widerstandsfähigkeit.

Als Körper von den angeführten Eigenschaften bieten sich alsbald dar: die Schnur oder das Seil aus Faserstoffen, das Band und der Riemen aus Leder oder Gewebe, auch das Metallband, ferner der Metalldraht, das Drahtseil, sodann die Kette in deren mannigfachen Formen, kurz alle jene Organe, welche einer anderen als einer Zugkraft keinen wesentlichen Widerstand entgegenzusetzen vermögen, während sie in der Zugrichtung selber bis zu jedem gewünschten Maasse genügend fest hergestellt werden können. Sie lassen sich unter dem Namen Zugkraftorgane zusammenfassen.

Wegen ihrer Nachgiebigkeit in anderen Richtungen lassen sich die Zugkraftorgane sehr gut mit festen Körpern von allerlei Formen zu Elementenpaaren vereinigen. So mit abgerundeten

Führungsstücken, wie in Fig. 124, über welche sie unter beiderseitig wirkendem Kraftschluss hingleiten, mit Rollen, Fig. 125,

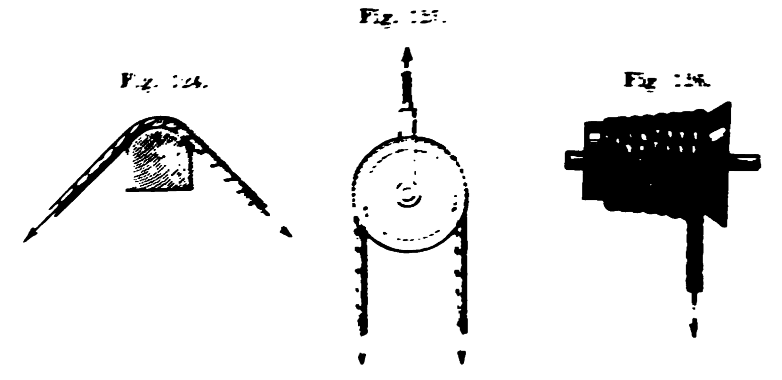


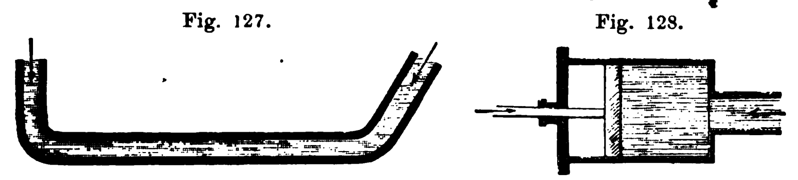
Fig. 124. Fig. 125. Fig. 126.

wobei sie sich an der einen Seite auf-, an der anderen abwickeln, mit Trommeln, Fig. 126, auf welche sie sich spiralig aufwinden, oder von denen sie abgewickelt werden, u. s. w., u. s. w. Man erhält so die auf die mannigfachste Weise anwendbaren und angewandten Elementenpaare, welche bei den Flaschenzügen, Kranen, beim Riementrieb, Seiltrieb, der Tauerei u. s. w., wie bekannt eine so bedeutende Rolle spielen. Die entstehenden Paare haben alle die Eigenschaft der gegenseitigen Umhüllung der Elemente, die hie und da in diejenige des Umschlusses übergeht, ohne indessen letztere als Grundeigenschaft zu besitzen; sie gehören deshalb zu den höheren Elementenpaaren.

Den Zugkraftorganen diametral gegenüber stehen andere, welche wesentlich nur einer ihre Moleküle einander nähernden Kraft zu widerstehen vermögen, und deshalb **Druckkraftorgane** zu nennen sind. Hierher gehören vor allem die Flüssigkeiten, tropfbare wie gasförmige, als Wasser, Oel, Dampf, Luft und Gase anderer Art. Der bei ihnen anzuwendende Kraftschluss hat die Flüssigkeitstheilchen stets gegen einander zu pressen. Damit sie aber dabei nicht seitlich ausweichen, müssen sie an allen Begrenzungsflächen des Flüssigkeitskörpers, auch normal zu dessen Bewegungsrichtung, mit demselben Drucke zusammengepresst werden. Dies lässt sich aber wieder durch latente Kräfte, nämlich unter Einschliessung der Flüssigkeit in Gefässe von geeigneter Form und Widerstandsfähigkeit ins Werk setzen. Solches geschieht z. B. in der Röhrenleitung für Wasser oder Dampf, Fig. 127, in dem Pumpen-, Dampf- oder Gebläsecylinder, Fig. 128, u. s. w.

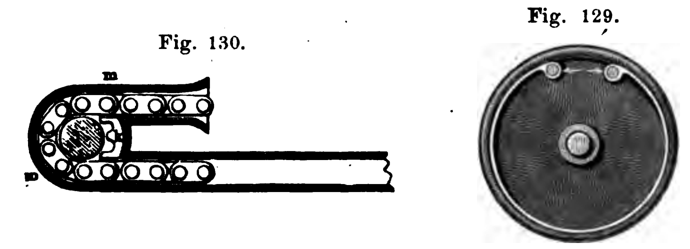
Es ist bekannt, welche hervorragende, ja mächtige Rolle die Druckkraftorgane dieser Gattung im Maschinenwesen spielen.

Fig. 127. Fig. 128.



Eine andere Gattung derselben, im Grunde genommen mit der vorigen enge verwandt, hat man in der neueren Zeit aus gewissen Zugkraftorganen gebildet, indem man ihnen durch geeignete Gefässe die Möglichkeit des seitlichen Ausweichens benahm, sie aber dann wie Druckkraftorgane behandelte. Die Galle'sche oder Gelenkkette in den Neustadt'schen Kranen*) wird in einem Rohre, Fig. 129, vorwärts gedrückt; das stählerne dünne Bremsband hat man durch Einbettung in einen Hohlcylinder, Fig. 130,

Fig. 130. Fig. 129.



zur Aufnahme von Druck an den freien Enden befähigt**), wobei seine Theilchen sich wie Gewölbsteine gegen einander stützen. Auch der Draht ist in verwandter Weise benutzt worden.

Die Druckkraftorgane haben mit den niederen Paaren die Eigenschaft des Umschlusses gemein; indessen müssen sie wegen der Beweglichkeit ihrer kleinen und kleinsten Theile zu den höheren Elementenpaaren gerechnet werden.

Betrachtet man die beiden Elementenpaargattungen, zu denen uns hier der Kraftschluss geführt hat, neben einander, so zeigen sie eine nahe Verwandtschaft. Vermöge der bei beiden nothwendigen Erhaltung des Kraftschlusses können sie immer nur unter

---

*) Siehe meinen Konstrukteur, III. Aufl., S. 624.

**) Siehe Schürmann's Hobelmaschine, Z. d. V. deutscher Ingenieure, Bd. V. (1861) S. 301.

Beanspruchung auf je eine Weise, oder in nur je einer Kraftrichtung gebraucht werden, das Zugkraftorgan immer nur auf Zug, das Druckkraftorgan nur auf Druck. Durch Aufwärtsschieben des Seiles in Fig. 126 setzt man die Trommel nicht in Bewegung, ebensowenig den Kolben in Fig. 128 durch Ablassen der Flüssigkeit. Die Paare sind also nur einseitig geschlossen, oder, wie man es nennen kann, monokinetisch, eine Eigenschaft, welche wir später bei anderen Paaren wiederfinden werden. Sie verdanken dieselbe der Nachgiebigkeit ihrer kleinen oder kleinsten Theile in allen ausser einer oder nur wenigen Richtungen. Diese Nachgiebigkeit heisst bei dem Druckkraftorgan von zertheiltem Aggregatzustand Fluidität, Flüssigkeit; bei den Zugkraftorganen hat man sie wohl Flexibilität, Biegsamkeit genannt. Beide Eigenschaften zusammen kann man wohl die Duktilität oder Bildsamkeit nennen. Es sind danach die Zug- und Druckkraftorgane, wo sie zu kinematischen Elementen gemacht sind, als duktile oder bildsame Elemente zu bezeichnen.

Die beiden besprochenen Gattungen derselben stehen sich etwa so gegenüber wie positiv und negativ, eine Beziehung, welche sich ja auch in ihren Schlusskraftrichtungen unmittelbar ausspricht. Das mit Wasser gefüllte Rohr, Fig. 127, steht gegenüber dem Zugseile in Fig. 124; der Cylinder mit Kolben, der von einer Seite her unter Wasserdruck steht, Fig. 128, ist entsprechend der Windetrommel in Fig. 126. Das „Wassergestänge“, welches neuerdings bei den Grubenpumpen in Anwendung kommt, ist als Gegenstück zum Zugseil anzusehen. Somit ergänzen sich logisch die Zug- und die Druckkraftorgane gegenseitig und sind daher völlig gleich berechtigt in der Reihe der kinematischen Elemente. Demnach ist das Verfahren, das Willis einschlug, indem er, wie in der Einleitung bemerkt, die mit Flüssigkeiten operirenden Mechanismen ausschloss, nicht richtig. Werden die Riemenwerke, Flaschenzüge u. s. w. unter die „reinen“ Mechanismen gezählt, so dürfen die Wasser-, Wind- und Dampfmaschinen darunter nicht fehlen. Man braucht auch bloss an die Bedeutung der letztgenannten zu denken, um es höchst auffallend zu finden, dass eine der allerwichtigsten, verbreitetsten und in ihren Bewegungen aufs feinste geleiteten Maschinen unkinematisch, „*impure*“, vor der Kinematik unwissenschaftlich sein solle. Wir werden gerade im Gegentheil weiter unten noch sehen, mit welcher wissenschaftlichen Kraft und welchem Erfolge gerade in diese Maschinen die Kinematik einzu-

dringen vermag. Willisens Anschauung ist prinzipiell nicht anerkannt, obwohl nicht eigentlich widerlegt worden; praktisch hat aber sein Vorgang die Folge gehabt, dass englische Schriften kaum, die ausserenglischen selten, und wenn überhaupt, so nicht mit der rechten Energie die so wichtigen Flüssigkeitsmaschinen kinematisch behandelt haben.

§. 42.

Die Federn.

Während wir in den Zug- und Druckkraftorganen bildsame Elemente von nur sehr einfacher Beanspruchungsweise fanden, steht dem Maschinenwesen noch eine andere Gattung solcher Elemente zur Verfügung, welche für jede beliebige Beanspruchungsweise eingerichtet werden können. Es sind die Federn. Sie werden wie bekannt in mannigfachen Formen konstruirt und leisten vorzügliche Dienste, immer indessen unter Anwendung derselben allgemeinen Maassregeln, welche wir bei den obigen duktilen Elementen als nothwendig erkannten, nämlich in jedem besonderen Falle unter der Einschränkung auf eine einzige Angriffsweise der Kräfte. Die verschiedenen Konstruktionsweisen lassen sich nach der spezifischen Beanspruchungsweise des Federkörpers ordnen, wonach dann Zug-, Druck-, Biegungs-, Drehungs- und Strebefedern unterschieden werden können. Am häufigsten sind die Biegungs- und die Drehungs- (Torsions-) Federn aus Metall, dann auch aus Holz, die Druck- und seltener Zugfedern aus Kautschuk und anderen organischen Stoffen.

Die Leichtigkeit, die Federn in die verschiedenartigsten Formen zu bringen, gestattet, den Gesammtkörper der Feder so zu gestalten, dass derselbe als Ganzes betrachtet oft einer anderen

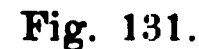
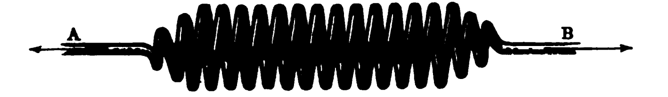


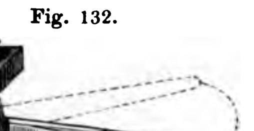
Fig. 131.



Beanspruchungsweise zuzuweisen ist und zugewiesen wird, als es der Wirkungsweise der einzelnen Querschnittfolgen zukommt. So ist die Schraubenfeder, Fig. 131, als Ganzes durch divergirende

Axialkräfte zu schliessen, also wie ein Zugkraftorgan zu behandeln, während sie der Belastung ihrer Querschnitte nach eine Torsionsfeder ist*). Gibt man derselben Feder eine solche Gestalt, dass die Schraubengänge einander im unbelasteten Zustande nicht berühren, so kann sie als Ganzes betrachtet, als Druckkraftorgan behandelt werden, muss aber dabei, wie überhaupt ein solches Organ, durch gefässartige Umschliessung an seitlichem Ausweichen verhindert werden. Eine eigentliche Zugfeder ist der Belastungsweise nach die in Fig. 132 dargestellte Wrillfeder oder Wringfeder**), welche als Körper betrachtet eine Torsionsfeder zu nennen ist und genannt wird. Einfache und zusammengesetzte Biegungsfedern werden bekanntlich im Eisenbahnwesen vielfach angewandt, ebenso mehrere Gattungen von Torsionsfedern, auch eine Strebefeder, nämlich die nur noch wenig angewandte Adams'sche Bogenfeder. Alle sind in jedem einzelnen Falle unter Ausschluss der störenden Kräfte anzuwenden, wenn sie in einer Maschine benutzt werden sollen.

Fig. 132.



Sehr gut eignen sich die Federn zur Herbeiführung des Kraftschlusses für unselbständige Elementenpaare, und sind hierfür vielfach in Anwendung, wie bei den Kolbendichtungen, den Sperrklinken u. s. w.; ausserdem spielen sie eine bedeutende Rolle als Aufsammler bewegender Kräfte, worauf wir später zurückkommen werden. Die Federn aus organischen Stoffen, als Kautschuk, Pflanzenfasern, Thiersehnen und dergleichen stehen den Zugkraftorganen sehr nahe, die aus festen Stoffen gebildeten dagegen den starren Elementen. In ihrer Wirkungsweise stehen sie den gasförmigen Druckkraftorganen nahe, indem sie wie diese innerhalb weiterer Grenzen elastisch sind. Von den starren Elementen müssen sie trotz ihrer ebenfalls nahen Verwandtschaft grundsätzlich geschieden werden, indem man bei diesen die Nachgiebigkeit auf ein vernachlässigbar kleines Maass herabzieht, während man bei der Feder dieselbe absichtlich gross macht.

*) Siehe meinen Konstrukteur, III. Aufl. S. 59, auch meine Konstruktion und Berechnung der wichtigsten Federarten, Winterthur, 1857.

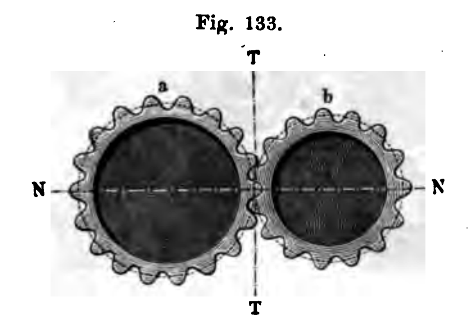
**) Dialektisch: Frehlen, vrehlen, was mit wringen ungefähr gleichbedeutend ist.

§. 43.

Schliessung von Elementenpaaren durch die kinematische Kette.

Ein unselbständiges Elementenpaar kann auch durch kinematische Verkettung geschlossen werden. Zwei Körper a und b, Fig. 133, als allgemeine Cylinder ausgeführt, und zwar mit gezähnelten Umfängen für normalcylindrische Axoide versehen — also nach dem technischen Sprachgebrauche: zwei Stirnräder — bei welchen wir eine genaue und spielfreie Verzahnung voraussetzen wollen, besitzen in den verzahnten Umfängen die für die Stützung in der Tangentenrichtung TT geeigneten Umhüllungsflächen, welche sogar auch so gestaltet werden können, dass sich die Räder nicht gegenseitig nähern können; dagegen fehlen ihnen solche für die Stützung gegen divergirende Kräfte in der Normalenrichtung NN. Wir können dieselbe aber nach einer der im vorigen Artikel kennen gelernten Methoden herbeiführen. Wählen wir das fünfte Verfahren (§. 35), bei welchem Parallelen von Rollzügen als Profilkurven dienen, so bietet sich uns in einem Parallelenpaar zu der (Punkt-) Bahn des Zentrums eines der beiden Räder, einem Kreisring, und in der Parallelen zu jenem Zentrum selbst, einem Kreis, ein geeignetes Profilkurvenpaar dar, welches in der Form einer kreisförmigen Rinne am Rade a, und eines runden Zapfens am Rade b, siehe Fig. 134 (a. f. S.), zur Verwendung gebracht werden kann, und die Stützung sowohl für divergirende als für konvergirende Radialkräfte bewirkt. Nehmen wir wieder an, dass die nöthigen gegen Querverschiebung schützenden Theile angebracht seien, so haben wir nun ein geschlossenes Paar vor uns.

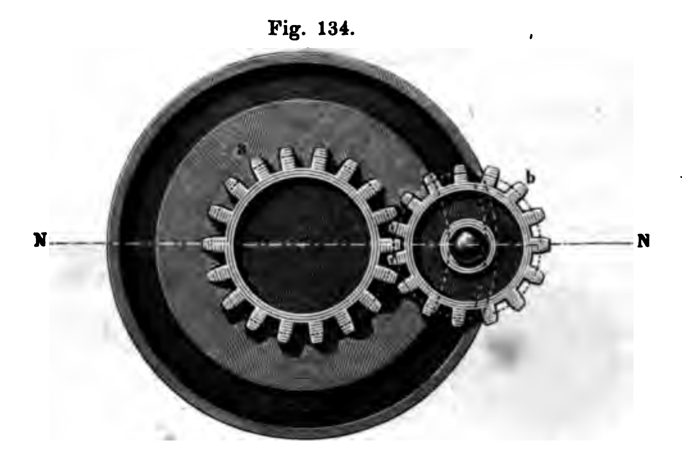
Fig. 133.



Für die gewöhnliche Anwendungsweise der Zahnräder würde diese Schliessungsart nicht praktisch sein; sie scheint vielleicht hier sogar sehr gesucht; es wird sich indessen unten zeigen, dass

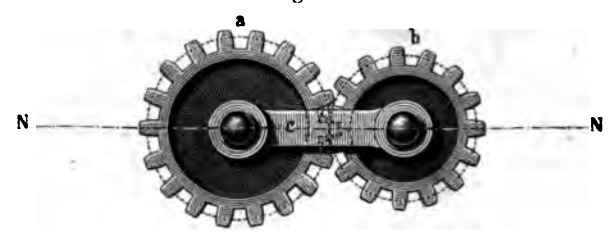
sie keineswegs ohne Vorgang ist. Für die Praxis bildet man lieber eine sich leicht darbietende kinematische Verkettung zwischen *a* und *b*. Bringt man nämlich an *a* wie an *b* konaxial mit den

Fig. 134.



Axoiden oder Theilkreiscylindern je einen Cylinder an, z. B. einen Vollcylinder, umschliesst beide mit Hohlcylindern, und verbindet letztere durch einen festen Steg *c* mit einander, Fig. 135, so ist die Stützung in der Normalenrichtung *NN* sehr gut bewirkt, so

Fig. 135.



zwar, dass hier, wie auch schon im vorigen Falle, der Schluss der Zahnprofile an den Scheiteln der Zähne aufgegeben werden kann. Das Ganze ist aber jetzt statt eines geschlossenen kinematischen Paares eine geschlossene kinematische Kette aus drei Gliedern. Die beiden ersten Glieder sind die normalcylindrischen gerieften Körper *a* und *b* mit konaxialen cylindrischen Achsen, das dritte der Verbindungssteg *c* mit zwei parallelen cylindrisch gehöhlten Ansätzen, den Lagerungen jener Achsen.

Der Kettenschluss, durch welchen wir hier das gegebene unselbständige Paar geschlossen, also vollständig zwangläufig ge-

macht haben, ist sehr zweckmässig und bekanntlich im allergewöhnlichsten Gebrauch, sowohl bei den cylindrischen, als den Kegelrädern, Hyperbelrädern, Schraubenrädern u. s. w.

Manchmal wird derselbe auch bloss angewandt, um eine kleine Vereinfachung in der Ausführung zu erzielen, obwohl das zur Paarschliessung geeignete Element vorhanden ist, aber nicht ganz ausgeführt wird. Der in Fig. 136 und 137 in zwei Formen dargestellte

Fig. 136.

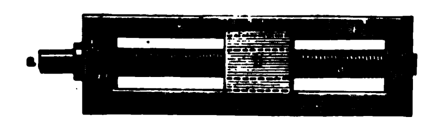


Fig. 137.

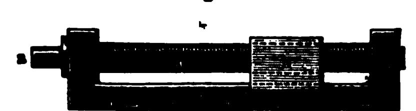


Fig. 138.



Schraubenmechanismus z. B. besteht beidemal aus den folgenden drei Gliedern: *a* Schraube mit konaxialen Drehzapfen, *b* Mutter mit prismatischer zur Schraubenachse paralleler Profilirung, *c* Führungsprisma für die Mutter mit Lagern für die Zapfen der Schraube. Fig. 134 zeigt alle drei Paare einzeln vollständig geschlossen, Fig. 135 dagegen den Schluss zwischen *b* und *c* unvollständig. Die Stützung gegen Aufwärtsbewegung der Mutter *b* ist hier dem Nachbargliede *a* übertragen, wozu dasselbe auch in der That ganz gut geeignet sein kann; es findet also hier ein sich bequem darbietender Kettenschluss neben dem unvollständigen Paarschlusse Anwendung.

Auch in Verbindung mit dem Kraftschluss tritt der Kettenschluss auf. Ein Beispiel liefert das gewöhnliche Zahnschaltwerk, Fig. 138. Kraftschlüssig ist hier die Bewegung des in die Zahnlücken eingreifenden Endes der Schaltklinke, sobald dieselbe rückwärts über die Zähne hingeführt wird, kettenschlüssig die Bewegung ihres Gelenk-Endes in Kreisbogen um die Radachse herum. Dieses Getriebe ist gleichzeitig nur einseitig wirkend oder monokinetisch, welche Eigenschaft wir oben bei Fig. 126 besprachen.

Ein lehrreiches Beispiel eines ketten- und zugleich kraftschlüssigen Getriebes liefert die hydraulische Presse, Fig. 139 (a. f. S.), bei welcher wir vorläufig die Pumpenventile wegdenken wollen.

Das Gefäss *d* führt den Kettenschluss zwischen den Kolben *a* und *b* herbei, indem es mit beiden prismatisch gepaart ist. Zugleich

Fig. 139.

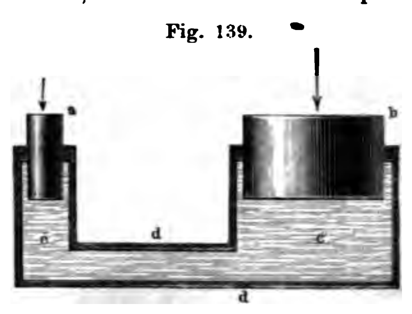
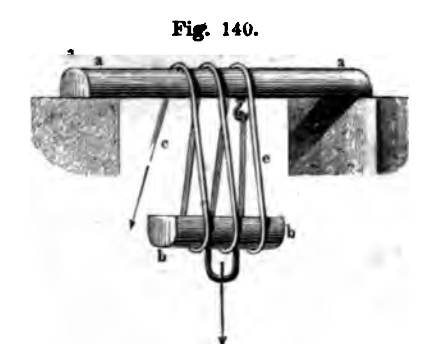


Fig. 140.



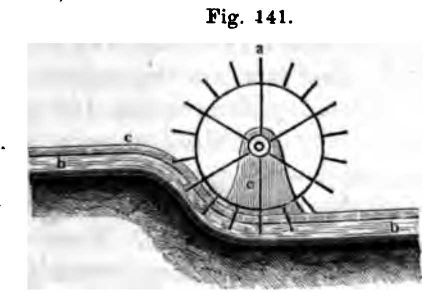
schliesst es die Flüssigkeit *c* kinematisch ein, während die Drucke auf die beiden Kolben den Kraftschluss in den Bewegungsrichtungen der Endigungen des Wasserkörpers bewirken. Die hydraulische Presse ist das kinematische Gegenstück zu einer ihm äusserlich sehr unähnlichen Maschine, dem Flaschenzug, indem bei ihr das Druckkraftorgan Wasser an die Stelle des Zugkraftorgans Seil gesetzt ist. Denkt man sich die gebräuchlichen radförmigen Rollen durch je ein festes Gleitstück an der Stelle der oberen und unteren Flasche ersetzt, Fig. 140, so ist die logische Uebereinstimmung augenfällig*). Die Kette hat zwar nur drei Glieder, allein dies rührt daher, dass das Zugkraftorgan der Zusammenfassung durch ein Gefäss nicht bedarf. Auch ist die Bewegung des Stückes *b* hinsichtlich der Gesammtfortschreitung noch kraftschlüssig (durch die Last). Würde man *b* gegen *a* durch ein Prismenpaar geradlinig führen, so wäre die Uebereinstimmung noch vollkommener. Es verdient beachtet zu werden, wie man in der letzten Zeit mehr und mehr auf die so zu nennende Vertauschbarkeit der Zug- mit den Druckkraftorganen, wovon uns hier ein Beispiel vorlag, aufmerksam geworden ist. Die Luftdruckklingeln, welche sich neuerdings verbreiten, stehen in einfachem und unmittelbarem Gegensatz zu den alten Drahtzugklingeln, ebenso das (einfach wirkende)

*) Es ist ein vielfach eingewurzelter, dem vollen Verständniss im Wege stehender Irrthum, dass die Wirkung des Flaschenzuges von den drehbaren Scheiben, den Rollen, abhänge, während diese doch nur den Zweck haben, an den Führungsstücken *a* und *b* die schädliche Reibung zu vermindern. Der Anatom nennt übrigens in richtigem Griffe einen Führungssattel nach Art des in Fig. 124 dargestellten eine Rolle.

Wassergestänge der Grubenpumpen zu dem eisernen Zuggestänge, theilweise auch der Wasserkran zu dem Seil- oder Kettenkran.

Ein weiteres Beispiel eines Getriebes mit Kraftschluss liefert das Wasserrad, Fig. 141. Der Schluss des im Gerinne *c* dahin fliessenden Wassers ist wieder ein zweifacher. Einmal ist er durch die latenten Kräfte der Gerinnwände, sodann durch die Schwerkraft, also kraftschlüssig bewirkt, indem letztere Kraft das Ausweichen des Wassers nach oben verhindert. In dem gekröpften Theil des Gerinnes bildet das Wasser mit dem gezahnten Radumfang ein Elementenpaar, ebenso aber noch mit dem Gerinne; das Rad seinerseits ist durch seine Drehzapfen und deren Lager wieder paarschlüssig mit dem Gerinne verbunden. Die kinematische Kette hat drei Glieder, nämlich: das Rad *a* mit seiner Achse, das Wasser *b*, und das Gerinne *c* mit den Zapfenlagern. Vermittelst der Kette wurde die Paarung des bildsamen Elementes *b* mit dem Elemente *a* bewirkt; der mit in Wirkung tretende Kraftschluss erzeugte dabei gleichzeitig die Umhüllung, beziehungsweise Umschliessung der Radschaufeln durch das bildsame Element *b* und die Anschmiegung desselben an das nur theilweise geschlossene Gefäss, als welches das Gerinne anzusehen ist.

Fig. 141.



Auch die oben besprochene Axoidrollung (s. §. 37 und 40) wird statt durch unmittelbaren Kraftschluss in manchen Fällen durch Kettenschluss erzielt oder wenigstens vermittelt. Ein bemerkenswerthes Beispiel liefert die Fell'sche Eisenbahn. Bei dieser findet anstatt des gebräuchlichen Anpressens der Treibräder durch die Schwere das Andrücken derselben kettenschlüssig statt, indem die liegenden Treibräder durch das eine kinematische Kette bildende Federwerk, das sogenannte Federgehänge, an die Mittelschiene gedrückt werden. In diesen und vielen ähnlichen Fällen findet die Feder mit dem grössten Vortheil Verwendung, da sie sich als elastisches bildsames Element mit veränderlicher Kraft gebrauchen lässt. Uebrigens ist im Federgehänge noch vielfach eine gewisse Unbestimmtheit der darin zugelassenen Bewegungen, d. i. eine Art von Vorwiegen des Kraftschlusses gebräuchlich.

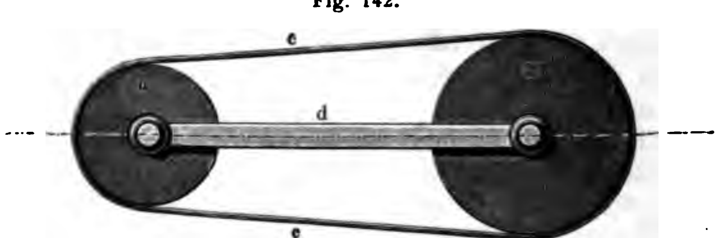
§. 44.

Vollständige kinematische Schliessung der bildsamen Elemente.

Wir haben gesehen, wie die bildsamen Elemente durch Paarschluss und Kettenschluss befähigt werden konnten, wichtige und praktisch äusserst werthvolle kinematische Verwendungen zu erfahren. Wir fanden dabei den Kraftschluss immer nöthig, allerdings aber in verschiedenem Maasse. Bei dem Seilzug in Fig. 124 verlangten wir von ihm die strikte Erhaltung der Seilrichtungen gegenüber Störungskräften, die von irgend welcher Seite herkommen mochten; bei der hydraulischen Presse forderten wir vom Kraftschluss nur noch die Abwärtspressung beider Kolben. Wenn wir noch einen Schritt weiter gehen, können wir ihm ganz entbehrlich werden, d. h. die bildsamen Elemente ohne Vorbehalt dem machinalen Prinzip unterworfen sehen.

Die Beseitigung des Kraftschlusses gelingt durch geeignete Verbindung kraftschlüssiger Ketten. Der Riementrieb, Fig. 142

Fig. 142.

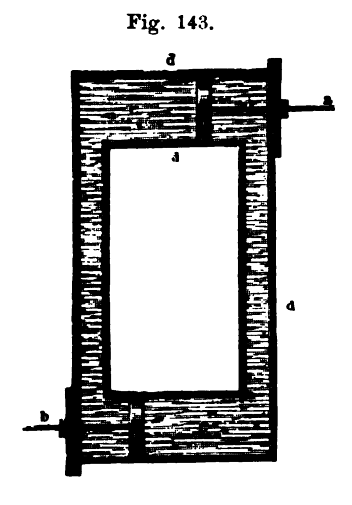


ist ein vorzügliches Beispiel hierzu. Indem hier zwischen die als Drehkörper ausgeführten und mit konaxialen Achsen versehenen Rollen *a* und *b* der die Achsen umschliessende Verbindungssteg *d* eingeschaltet, und der auf *a* gelegte Riemen *c* mit dem auf *b* gelegten aus einem Stücke gebildet wird — man nennt den Riemen dann einen endlosen — erhält man eine kinematische Kette, bei welcher das bildsame Element *c* vom Kraftschluss ganz befreit ist. Man kann sie als eine Verbindung zweier Ketten nach Fig. 125 ansehen, deren Schliessungskräfte durchweg gegenseitig wirken.

Der Kettenschluss bewirkt übrigens hier zweierlei. Erstens macht er, wie gesagt, für das bildsame Element *c* den Kraftschluss entbehrlich, indem er ihn durch die latente Kraft beseitigt, welche dem Verbindungsstege *d* innewohnt. Zweitens erzwingt ganz derselbe kinematische Schluss auch die Axoidrollung, von deren Hervorrufung durch den Kraftschluss wir in §. 40 sprachen. Die betreffenden Axoide sind hier, bei Voraussetzung cylindrischer Gestalt der Rollen, einerseits die sich auf- und abwickelnde Riemenfläche, andererseits die Umflächen der beiden Rollen. Diese Flächen werden durch die im Stege *d* nach beiden Seiten wirkende Kraft so fest gegeneinander gepresst, dass sie nicht mehr gegenseitig zu gleiten vermögen. Die erhaltene Kette hat vier Glieder: die beiden Rollen *a* und *b* mit ihren Achsen, den Riemen *c* und den Verbindungssteg *d* mit den Zapfenlagern. Die Bewegungen in der Kette finden nun ganz so statt, wie in einer aus starren Elementen gebildeten. Jede Winkelbewegung der einen Rolle führt eine solche der anderen herbei; auch lässt sich die Kette umkehren, d. h. mit jedem einzelnen Gliede feststellen, wenn hinsichtlich des Riemens selbst eine seitliche Beanspruchung vermieden wird.

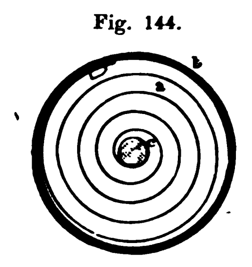
Als ein Gegenstück zu diesem Getriebe kann die in Fig. 143 angedeutete kinematische Kette angesehen werden. Zwei Kolben *a* und *b*, in ein gefässförmiges Verbindungsstück *e* prismatisch und dichtschliessend eingepasst, sind durch die in *d* eingeschlossenen Flüssigkeitssäulen *c* und *d* kinematisch verbunden. Wird der Kolben *a* nach rechts bewegt, so zwingt die rechtsgelegene Wassersäule den Kolben *b*, nach links zu gehen, wobei dieser gerade so viel Wasser aus der linksgelegenen Säule hinter den oberen Kolben treibt, als zu einer Verdrängung gebraucht wurde. Trägt man Sorge, die Räume vollständig mit Wasser gefüllt zu halten, und befreit auch das Wasser von der mechanisch beigemengten Luft, so ist die Wirkung eine so zu sagen vollkommene, die Kette so sicher geschlossen, als ob sie nur starre Glieder besässe. Herr Anderssohn hat dies durch interessante

Fig. 143.



Versuche mit Röhren bis zu 3000 Meter Länge für einfache Wassergestänge nach Art der Kette in Fig. 139 überzeugend nachgewiesen *). Jede auch noch so kleine Verschiebung des einen Kolbens überträgt sich sofort auf den anderen. Das vorstehende Getriebe kommt unter dem Namen doppeltwirkendes Wassergestänge als spät sich einstellendes Gegenstück zu dem obigen Riementrieb in neuerer Zeit in vermehrte Anwendung. Dass es theilweise durch Neuheit frappirt hat, ist ein deutliches Zeichen dafür, dass wir es als Ergebniss eines Entwicklungsvorganges anzusehen haben.

Fig. 144.



Ebenso wie die Zug- und Druckkraftorgane lässt sich auch die Feder kettenschlüssig in Getriebe so einfügen, dass die volle Zwangläufigkeit entsteht. Ein Beispiel liefert die Uhrfeder, Fig. 144. An dem einen Ende mit dem Cylinder *c*, am andern mit dem Gehäuse *b* verbunden, welches mit *c* gepaart ist und mit dem Räderwerk der Uhr zusammenhängt, ist die Feder als Glied in eine geschlossene kinematische Kette eingeschaltet, und wird hier insbesondere für eine Maschine benutzt, an deren streng zwangläufigen Gang man die höchsten Ansprüche stellt.

*) S. Zeitschrift des V. deutscher Ingenieure. Bd. XIII. (1869) S. 402.

FÜNFTES KAPITEL.

UNSELBSTÄNDIGE KINEMATISCHE KETTEN.

§. 45.

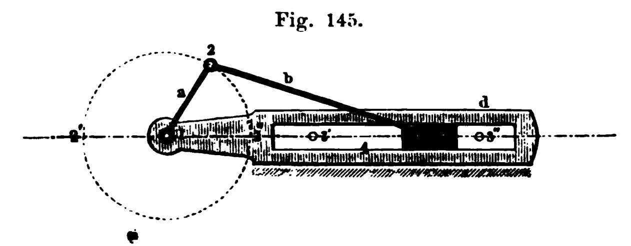
Todpunkte in Mechanismen. Ueberschreitung derselben vermittelst sensibler Kräfte.

Die Eigenthümlichkeit, unselbständig zu sein, welche wir bei einzelnen Elementenpaaren kennen und unschädlich machen lernten, kommt auch bei manchen kinematischen Ketten vor, und wird durch ähnliche Mittel wie dort ausgeglichen. Schon bei einer gewöhnlichen Dezimalwaage könnte man davon sprechen, dass wegen der blossen Verbindung der Glieder durch Schneiden nach Fig. 122 die Kette als unselbständig anzusehen sei. Allein diese Art der Unselbständigkeit ist ja keine andere als die der Elementenpaare, ünd ist deshalb als erledigt anzusehen. Es handelt sich vielmehr um die Unselbständigkeit von Ketten, die ganz aus geschlossenen Paaren bestehen können, oder bei denen die Schliessung der einzelnen Paare irgendwie geschehen ist.

Wenn in einem Getriebe Bewegung dadurch hervorgerufen worden ist, dass eines der Glieder in der ihm eigenthümlichen Bewegung durch sensible Kräfte getrieben wird, so wird dadurch nicht stets ohne weiteres eine dauernde Bewegung erzielt. So z. B.

wird in dem in Fig. 145 dargestellten Mechanismus durch Einwirkung einer auf die Kurbel *a* stets normal gerichteten Kraft, welche

Fig. 145.



den Zapfen bei 2 antreibt, der Mechanismus in Bewegung gebracht und erhalten, wobei durch Vermittlung des Gliedes *b* der Körper *c* in der Führung 4 hin- und hergeschoben wird; wenn hingegen die treibende Kraft, statt an *a* anzugreifen, das Gleitstück *c* hin- und herschiebt, es nämlich abwechselnd von 3′ nach 3″, und von da wieder unter Umkehrung ihrer Richtung nach 3′ treiben sollte, so würde die Fortsetzung der Bewegung aus den Stellungen 3′ und 3″ des Körpers *c* und diejenige der Kurbel aus den Stellungen 2′ und 2″ nicht gesichert sein, da in diesen Stellungen die treibende Kraft durch den festen Lagerpunkt 1 geht und demnach durch das festgestellte Glied *d* aufgenommen wird. Die genannten beiden Stellungen führen den bekannten Namen der „todten Punkte“ oder „Todpunkte“, auch „Todtlagen“ des Mechanismus. Der zu dieser Benennung führende Begriff ist der, dass die Kette sich der treibenden Kraft gegenüber wie ein fester Körper, der mit dem ruhenden Gliede verbunden ist, verhält, dass sie ihre Beweglichkeit, ihr Leben eingebüsst hat, also gleichsam todt liegt. Diesen Begriff wollen wir verallgemeinern, indem wir ihn nicht bloss auf den Kurbelmechanismus, für den ihn Watt eingeführt, sondern auf alle übrigen Mechanismen, wo er zur Geltung kommen kann, anwenden.

Man bedient sich mehrerer Mittel zur Ueberwindung der Todpunkte in Mechanismen. Ein bei dem obigen und in ähnlichen Fällen gebräuchliches Mittel ist die Anbringung von Schwungmassen auf solchen Kettengliedern, welche bei der Todtlage des von der sensiblen Kraft getriebenen Gliedes eine genügende Geschwindigkeit besitzen, um der lebendigen Kraft der Schwungmassen zu ermöglichen, den Mechanismus über den Todpunkt zu führen. Bei dem obigen Getriebe, wenn es in der Dampfmaschine verwendet wird, bildet das mit der Kurbel *a* verbundene Schwungrad in bekannter Häufigkeit das Mittel zur Ueberschreitung des

Todpunktes. Das Schwungrad äussert dabei die zur Weiterbewegung des Getriebes erforderliche sensible Kraft; die Erhaltung der Bewegung der Kette geschieht also durch Kraftschluss. Bei der Lokomotive bewirkt die sich geradlinig fortbewegende Masse des ganzen Werkes die Ueberschreitung der Todpunkte, sobald die Maschine im vollen Gange ist; meistens verlegt man die Schwungmassen indessen in rotirende Körper. Hie und da findet man auch blosse Gewichte, welche, ohne besondere Geschwindigkeit zu besitzen, also bloss statisch, die kraftschlüssige Ueberwindung des Todpunktes ausführen.

§. 46.

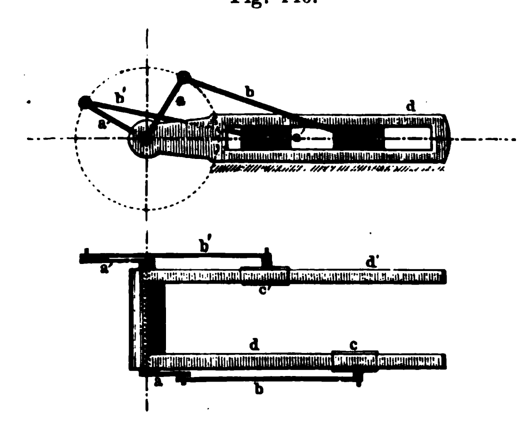
Ueberschreitung des Todpunktes durch Kettenschluss.

Die Anwendung des Kraftschlusses zur Ueberschreitung des Todpunktes ist nicht in allen Fällen angemessen. Namentlich hat sich auf dem Gebiet der Dampfmaschine wiederholt Anlass gefunden, zu einem anderen Prinzip zu greifen. Es geschah dies in denjenigen Fällen, wo auch bei ganz geringer, kaum merklicher Geschwindigkeit des Mechanismus, namentlich beim wiederholten Anlassen desselben, der Ueberführung von der Ruhe zur Bewegung, die Ueberschreitung des Todpunktes nöthig wurde, wie es bei den Lokomotiven, Schiffsmaschinen, Fördermaschinen der Bergwerke u. s. w. der Fall ist. Dieses andere Prinzip besteht in der Zuhilfenahme einer zweiten kinematischen Kette, welche mit der ersten derartig verbunden wird, dass sie sich in einer wirkungsfähigen Lage befindet, wenn die erstere todt liegt. Meistens werden zwei gleichartige Ketten miteinander verbunden, woraus dann der Vortheil hervorgeht, dass ihre Aufeinanderwirkung eine gegenseitige ist.

Um den obigen Kurbelmechanismus todtpunktfrei zu machen, wird er z. B. mit einem zweiten ihm gleichen so zusammengesetzt, Fig. 146 (a. f. S.), dass die beiden Kurbeln eine gemeinsame Achse haben und bei parallelen Schubrichtungen um 90° gegeneinander versetzt stehen, eine Form, die bei den Lokomotiven die ganz gebräuchliche ist, überhaupt bei den sogenannten Zwillingsdampfmaschinen in der ausgedehntesten Anwendung steht. Stellt man, statt die Kurbelarme rechtwinklig zu setzen, die Schubrichtungen selbst unter 90° gegeneinander, siehe Fig. 147, so kann eine einzige Kurbel

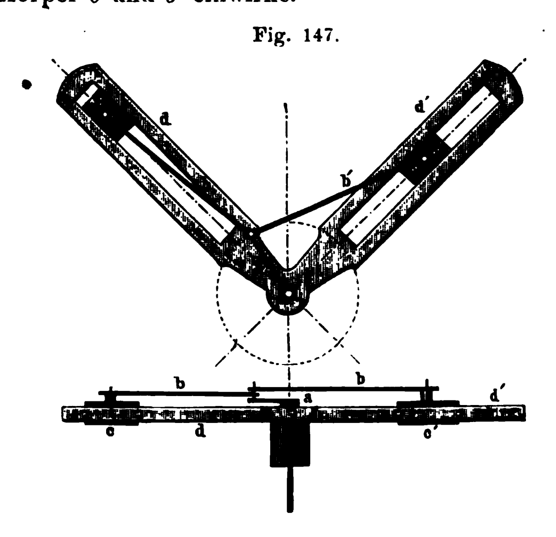
für beide Mechanismen zugleich dienen; viele Schraubenschiffe zeigen diese Einrichtung, die auch bei Landdampfmaschinen schon Eingang gefunden hat. In diesem wie im vorigen Falle ist voraus-

Fig. 146.



gesetzt, dass in beiden Ketten die treibende Kraft (Dampfdruck) auf die Körper *c* und *c'* einwirke.

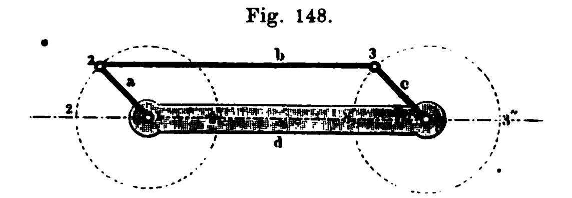
Fig. 147.



Ein anderer Mechanismus, in welchem durch Kettenschluss die Ueberschreitung des Todpunktes bewirkt wird, ist der in folgender Figur skizzirte. Hier sind zwei gleiche und parallele Kurbeln *a* und *c* durch ein Verbindungsglied *b* verknüpft, dessen Länge

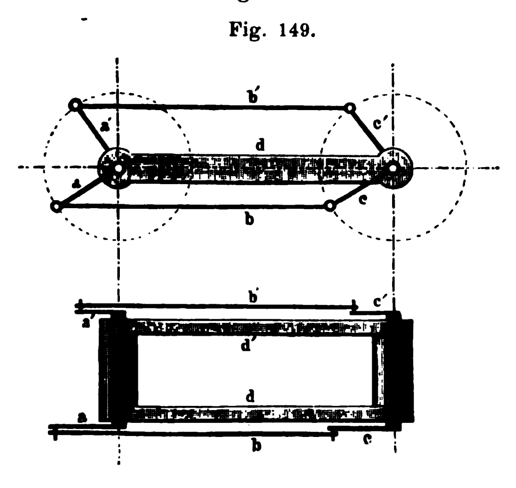
gleich derjenigen des Verbindungssteges d ist. Die Figur 1, 2, 3, 4 ist deshalb ein Parallelogramm, die Lagen 1, 2′, 3′, 4 und 1, 2″, 3″, 4 aber Todtlagen, und zwar sowohl für den Fall, dass die be-

Fig. 148.



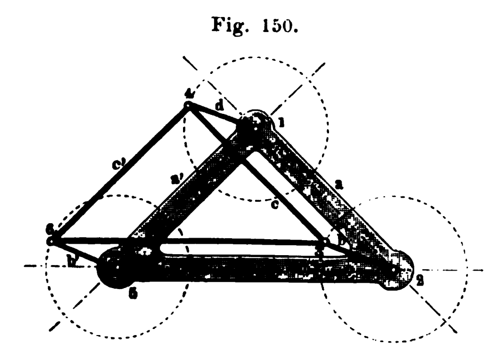
wegende Kraft in a, als dass sie in c eingeleitet werde. Die Todpunktüberschreitung lässt sich ermöglichen durch Zufügung einer zweiten der ersten gleichen Kette a' b' c' d', mit der ersten so verbunden, dass die Kurbeln a und a' sowohl, als c und c' je eine gemeinschaftliche Achse haben und einen Winkel von 90° einschliessen, ausserdem d mit d' fest verbunden ist, d. h. beide festgestellt werden, Fig. 149. Die Lokomotiven mit gekuppelten Achsen geben Beispiele hierzu.

Fig. 149.



Eine andere Methode, die auf denselben Mechanismus Anwendung findet, ist diejenige, dass in der Ebene der beiden ersten Kurbeln — sie sind in Fig. 150 mit b und d bezeichnet — eine dritte ihnen gleiche b' gelagert wird, welche mit b wie mit d durch je ein Kuppelungsglied 6,3 und 6,4 verbunden ist, während

Fig. 150.



ihr Achsenlager derart mit dem Verbindungsstege *a* vereinigt wird, dass 1. 4. 6. 5 und 3. 2. 6. 5 ebenfalls Parallelogramme sind. Hier sind drei der ersten gleichartige Ketten miteinander verbunden, von denen, wenn die Punkte 4. 3 und 6 ein Dreieck bilden, immer nur einer sich in einer Todtlage befinden kann. Die Anwendungen auch dieses Mechanismus sind nicht selten. In den beiden letzten Beispielen handelt es sich um Uebertragung von Drehbewegungen.

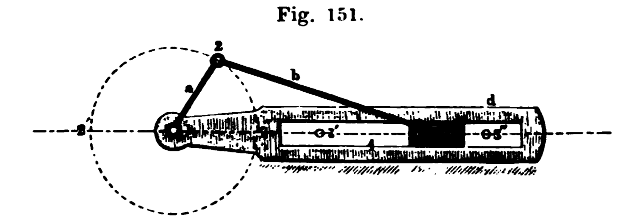
§. 47.

Schliessung kinematischer Ketten durch Elementenpaare.

Während wir früher (§. 42) fanden, dass in gewissen Fällen Elementenpaare durch kinematische Ketten geschlossen werden, finden wir auch den umgekehrten Vorgang, dass kinematische Ketten durch Elementenpaare geschlossen werden, nicht sowohl in Umkehrung der Deutung jener Kettenschliessungen, als vielmehr als wirklich zu einer vorhandenen, aber nicht ausreichenden Kettenschliessung hinzutretende Schliessung.

Schon bei dem Mechanismus, den Fig. 151 wiederum vorführt, können wir eine eigenthümliche Bemerkung hinsichtlich der Aufeinanderfolge der einzelnen Bewegungsphasen machen, welche

Fig. 151.

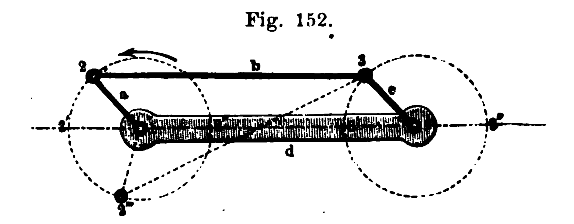


nicht ganz gleichgültig ist. Denken wir uns, dass der Todpunkt 2' aus der Stellung 2 durch Linksdrehung der Kurbel erreicht worden sei, und zwar vermöge Verschiebung des Stückes *c* durch eine treibende Kraft, und lassen darauf diese letztere an *c* in der umgekehrten Richtung angreifen, so ist, wenn eine Ueberschreitung des Todpunktes weder durch Kraft- noch durch Kettenschliessung herbeigeführt worden war, sowohl die Vorwärtsbewegung der Kurbel im unteren Halbkreis, als auch die Rückwärtsbewegung im oberen möglich. Die Bewegung in der Kette ist also eine nicht völlig

gezwungene, oder die Kette nicht im ganz vollen Sinne geschlossen, wenn wir den ganz vollständigen Schluss darin sehen, dass derselbe bei jeder Bewegung eines Gliedes auch nur eine einzige jedes anderen Gliedes gestatte. Indessen ist die gedachte rückläufige Bewegung der Kurbel *a* doch im Grunde nicht verschieden von der vorher vollzogenen Bewegung, indem man ja die Bewegung des Schubstückes *c* von links nach rechts ebenfalls als eine rückläufige ansehen kann, womit denn der Bewegungszusammenhang ganz als der vorige erscheint.

Anders aber verhält es sich unter ähnlichen Umständen mit dem Mechanismus der zwei parallelen Kurbeln, welchen wir oben besprachen. Denken wir uns hier, Fig. 152, aus der Lage 2, 3 die

Fig. 152.



Lage 2′, 3′ durch Drehung in der Pfeilrichtung erzeugt, und nun bei Abwesenheit einer Vorkehrung zur Ueberschreitung des Todpunktes die Kurbel *a* weiter vorwärts bewegt, so kann die Kurbel *c* auch statt vorwärts zu gehen, sich rückwärts bewegen, und z. B., wenn *a* nach 2‴ gelangt ist, wieder nach 3 zurückgegangen sein, um, wenn *a* bis 2″ geführt wird, ihrerseits in der Todtlage 4, 3″ anzukommen. Von hier aus kann die rückläufige Bewegung durch den anderen Halbkreis fortgesetzt werden, während *a* wieder nach 2 u. s. w. geht. Kurz die Kurbel *c* kann bei rechtläufiger Bewegung von *a* sich sowohl rechtläufig als auch rückläufig bewegen, und zwar geschieht die letztere Bewegung nach einem ganz andern Gesetze als die rechtläufige. Der Uebergang von der einen Bewegungsweise des Mechanismus zur anderen kann von jedem der beiden Todpunkte aus stattfinden. Thatsächlich ist also diesmal die Kette in den beiden Todpunkten nicht geschlossen, und es wurde somit durch die obigen Vorkehrungen zur Ueberwindung der Todpunkte, die durch Fig. 149 und 150 dargestellt werden, auch die eigentliche Schliessung der Kette bewirkt. In den Todtlagen kann hier, wenn eine solche Schliessung nicht vorhanden ist, ein vollständiger Wechsel im Bewegungsgesetz des Getriebes ein-

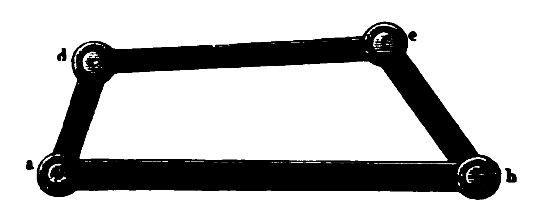
treten, der Mechanismus also geradezu ein anderer werden. Wir wollen eine solche Lage der Glieder eines Getriebes eine Wechsellage oder einen Wechselpunkt nennen.

Der Kettenschluss, welchen wir vorhin in zwei Formen, Fig. 149 und Fig. 150, anbrachten, diente dazu, bei rechtläufiger Bewegung der Kurbel *a* eine eben solche der Kurbel *c* zu erhalten. Es fragt sich, wie die Schliessung zu vollziehen sei, um bei rechtläufigem Gange von *a* den rückläufigen von *c* zu erzwingen, oder allgemeiner, um die beiden Kurbeln gegenläufig statt gleichläufig zu machen.

Diese Schliessung kann hier, wie überhaupt in allen Ketten, welche Wechselpunkte besitzen, dadurch geschehen, dass man die in der Wechsellage ungeschlossenen Glieder durch eine solche unmittelbare Elementenpaarung verknüpft, welche der beabsichtigten Art des Mechanismus entspricht.

Um dies ausführen zu können, muss man, wie wir aus dem dritten Kapitel wissen, die Axoide oder die Polbahnen der zu paarenden Körper kennen. Letztere Körper sind hier z. B. die beiden Kurbeln *a* und *c*, oder auch die beiden Glieder *b* und *d*, überhaupt zwei gegenüberliegende Glieder in der viergliedrigen, aus vier parallelen Cylinderpaaren gebildeten Kette, Fig. 153,

Fig. 153.

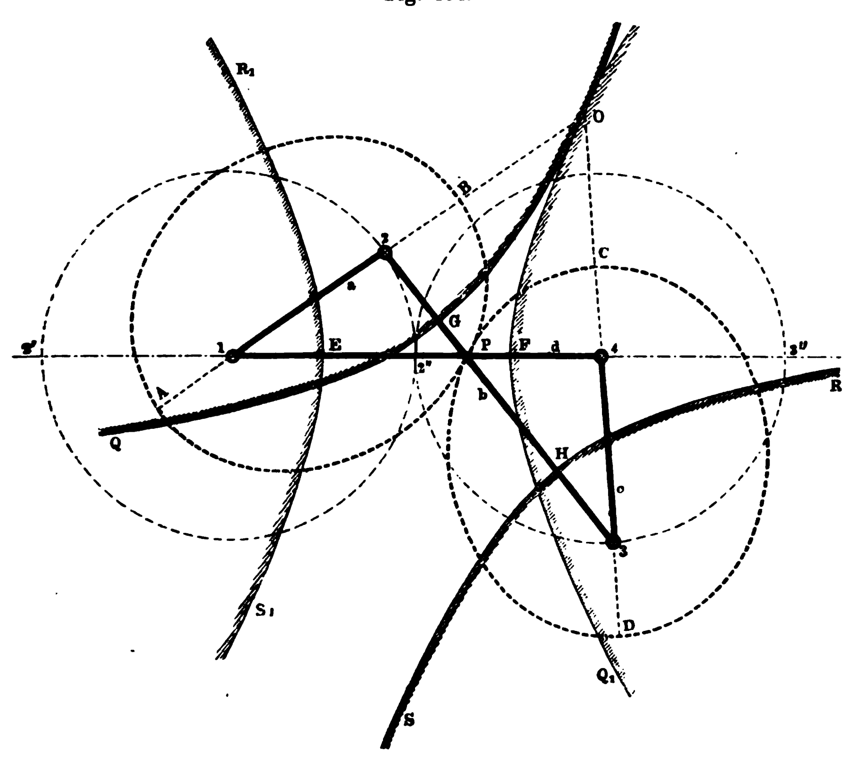


welche wir bereits in §. 8 und 9 hinsichtlich ihrer Polbahnen vorläufig untersucht haben. Diese letzteren stellten sich damals als sehr verwickelte Gebilde heraus; hier nehmen sie wegen der Gleichheit der gegenüberliegenden Kettenglieder besonders einfache Gestalten an. Sie sind, wohl zu beachten unter der Voraussetzung, dass die Kurbeln gegenläufig sind, in der folgenden Figur dargestellt.

Für die Glieder *a* und *c*, das kürzere Paar, werden sie Ellipsen, deren Brennpunkte die Endpunkte 1, 2 und 3, 4 der Kurbeln

sind, und deren grosse Achsen AB und CD die Länge der Verbindungsglieder b und d haben; der Pol P bewegt sich auf den Verbindungsgliedern b und d hin und her. Für diese letzteren

Fig. 154.

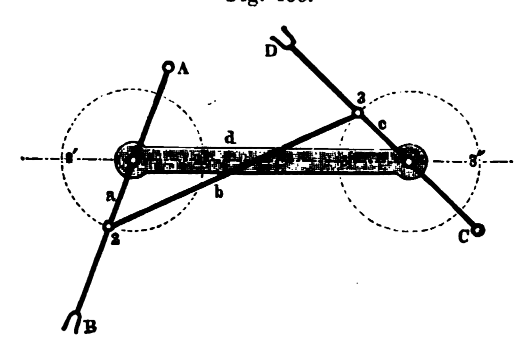


Glieder werden die Polbahnen Hyperbeln, deren Hauptachsen EF und GH mitten auf b und d liegen und die Kurbellänge $a = c$ zur Länge, sowie die Punkte 2, 3 und 1, 4 zu Brennpunkten haben; der Pol O durchläuft jeden Hyperbelast bis zur Unendlichkeit, um darauf auf den anderen Ast bei $-\infty$ überzuspringen.

Soll zwischen zwei gegenüberliegenden Gliedern für die Wechsellage eine Paarung vorgenommen werden, so wird dieselbe hiernach auf jeden Fall eine höhere sein müssen; dieselbe braucht indessen nicht weiter zu gehen, als es kleinen Stücken der während des Durchlaufens der Wechsellage aufeinander wälzenden Kegelschnittbogen entspricht. Diese Bogen sind, wenn wir als zu paarende Glieder die beiden kürzeren, a und c, wählen, die Ellip-

senscheitel A, B und C, D an den Enden der langen Achsen. Indem wir daselbst je einen Zahn und eine Lücke anbringen, wie es Fig. 155 andeutet, erhalten wir einen Mechanismus mit nun-

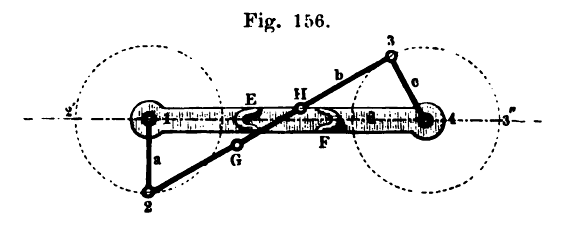
Fig. 155.



mehr wirklich geschlossener Kette. Derselbe ist von mir zuerst angegeben und damals mit dem Namen Gegendrehungskurbeln belegt worden *). Ich komme später auf ihn zurück, um alsdann auch noch eine andere Benennung zu besprechen.

Sollen statt der kürzeren die beiden längeren Glieder b und d gepaart werden, so ist zu beachten, dass in der Wechsellage sich die Hyperbelscheitel F und G, beziehungsweise E und H berühren.

Fig. 156.



Bringen wir deshalb in diesen Punkten wieder je einen Zahn und die zugehörige Lücke an, Fig. 156, so ist auch diese Paarung zur Schliessung der Kette geeignet. Wir haben demnach hier sogleich zwei Lösungen der gestellten Aufgabe vor uns. Wollte man noch weiter gehen, so könnte man für den einen Todpunkt die erste, für den anderen die zweite Schliessungsweise zur Anwendung bringen.

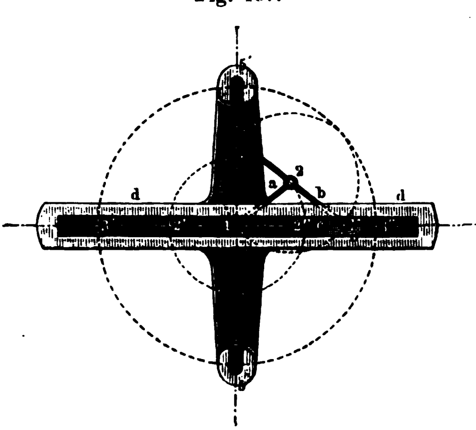
Ein anderes beachtenswerthes Beispiel der Schliessung einer mit einem Wechselpunkt behafteten Kette durch ein Paar ist das

*) Siehe Civil-Ingenieur. V. (1859) S. 99.

folgende. Wird in dem in Fig. 145 dargestellten Getriebe die Länge des Gliedes *b* gleich derjenigen der Kurbel *a* gemacht, so wird das Gleitstück *c* bei einer Vierteldrehung der Kurbel *a* von dem Endpunkte 3′ seines Hubes bis zum Kurbeldrehpunkte 1 verschoben, und würde bei Fortsetzung der Drehung um weitere 90° symmetrisch zur vorherigen Schiebung verlegt werden, wenn nicht gerade bei Eintritt der mittleren Kurbelstellung ein Wechselpunkt im Getriebe entstanden wäre. Es fällt dann nämlich das Zapfenmittel 3 des Gleitstückes mit dem Drehpunkt 1 zusammen; *a* und *b* decken sich und sind gemeinschaftlich um eine durch 1 gehende Achse drehbar. Die Kette ist also bei Eintritt dieses Wechsels in ein Elementenpaar übergegangen. Um den Wechselpunkt unschädlich zu machen, können wir die Paarung des Gliedes *b* mit dem gegenüberliegenden *d* anwenden, und müssen dafür die Polbahnen der beiden Stücke kennen.

Diese sind, wie eine nähere Betrachtung der gegenseitigen Bewegungen von *b* und *d* lehrt, Cardanische Kreise, Fig. 157: der kleine vom Halbmesser $a = b$, beschrieben aus dem Punkte 2, mit

Fig. 157.



b verbunden, der grosse, vom doppelten Halbmesser, beschrieben aus dem Punkte 1, mit *d* verbunden. Die Paarung im Wechselpunkte ist somit leicht zu vollziehen, indem wir nur *b* und *d* mit kleinen Stücken Verzahnung, welche beim Eintreten des Getriebes in die Wechsellage zum Eingriff kommen, zu versehen brauchen.

Das Umfangsverhältniss 1 : 2 der Polbahnen und die einfache Gestalt dieser letzteren erleichtert die Lösung sehr. Bringen wir

z. B. an *b* im Punkte 5, dem Gegenpunkte des Punktes 3, einen Zahn an, so wird derselbe beim ersten Wechselpunkt in 5', beim zweiten in 5'', woselbst die zugehörigen Lücken anzubringen sind, eingreifen können, der Mechanismus aber damit geschlossen sein, wie die Figur leicht übersehen lässt. Bemerkenswerth ist, dass der Punkt 3 bei jeder halben Umdrehung der Kurbel *a* einen Weg gleich vier Kurbellängen durchläuft, während bei dem Getriebe in Fig. 145 der Weg des Punktes 3 nur zwei Kurbellängen beträgt. Das vorliegende Getriebe ist schon länger bekannt. Es wurde 1816 von Dawes mit geringen Abweichungen in einer Dampfmaschine angewandt, auf welche ich zurückzukommen habe*). Uebersehen darf man nicht, dass die stattgefundene Schliessung keineswegs die Ueberschreitung der Todpunkte 3' und 3'', welche eintreten würden, wenn man die bewegende Kraft durch das Gleitstück *c* einleitete, bewirken. Dies würde auch durch Paarung weder hier noch auch bei dem Mechanismus in Fig. 145 möglich sein, weil nämlich der Pol beim Eintritt dieser Todpunkte gerade in der Verlängerung der Schubrichtung liegt, die treibende Kraft also dann gerade durch den Pol selbst geht.

Ueberhaupt ist die Todpunktüberschreitung durch höhere Paarung nur dann ausführbar, wenn die Polbahnen eine geeignete Gestalt haben. Diese darf nicht so beschaffen sein, dass die treibende Kraft in dem Augenblicke, wo der Todpunkt eintritt, durch den Pol selbst geht, indem dann ihr Hebelarm, also ihr statisches Moment, bedingungslos Null wird.

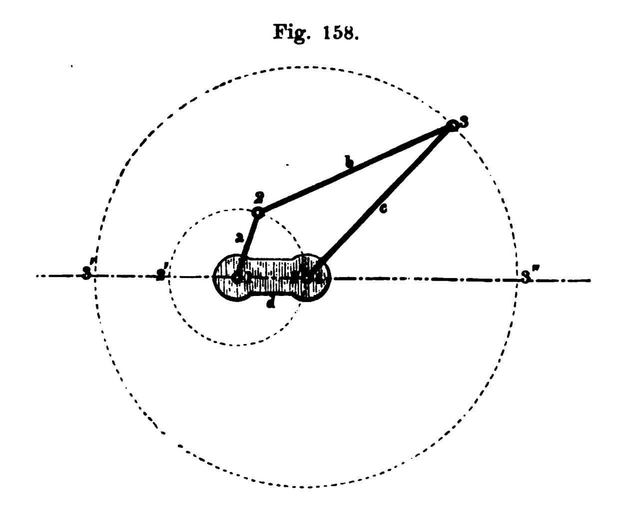
Als ferneres Beispiel sei noch ein merkwürdiges Getriebe angeführt, welches durch Längenänderung aus der Kette in Fig. 153 entsteht. Macht man je zwei benachbarte der Glieder *a*, *b*, *c*, *d* gleich lang, die gegenüberliegenden aber ungleich lang, Fig. 158, so erhält man bei Feststellung des einen der kürzeren Glieder einen Mechanismus, welcher ebenfalls zwei Wechselpunkte besitzt. Der erste tritt ein, wenn *a* bei Drehung nach der Linken hin in 1, 4 anlangt, wobei Punkt 3 nach 3' gekommen ist, und, wenn keine Schliessung vorgenommen war, die Kette in ein Cylinderpaar übergeht, welches um 4 drehbar ist. Der zweite Wechselpunkt tritt ein, wenn *a* danach eine ganze weitere Drehung um 1 vollzogen hat, somit abermals in 1, 4 angelangt ist, wobei 3 nach

---

*) Siehe §. 80.

3″ gelangt ist. Die zusammenfallenden Stücke *b* und *c* können dann abermals um 4 rotiren.

Fig. 158.

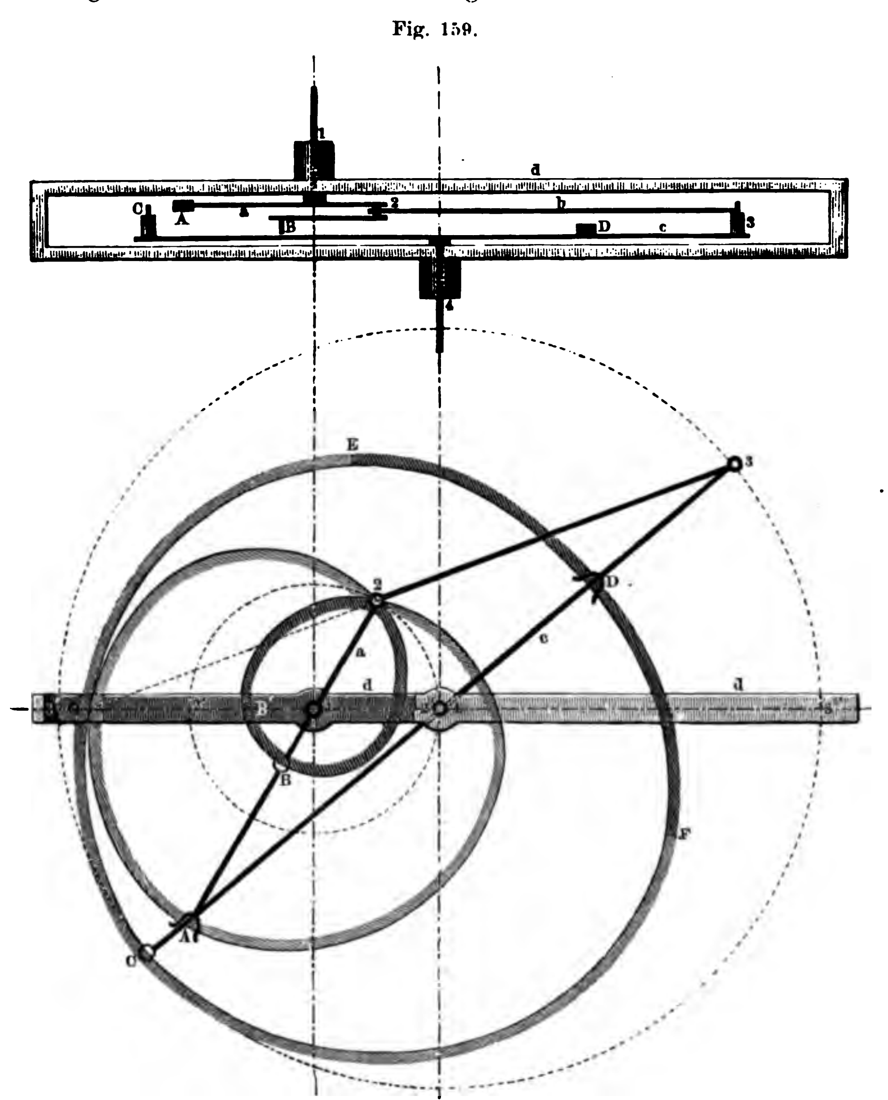


Die Kurbel *a* bewirkt also bei einer ganzen Drehung — die Schliessung der Kette als vorhanden vorausgesetzt — eine halbe Drehung der Kurbel *c*, oder umgekehrt: die Kurbel *c* ertheilt der Kurbel *a* bei jeder ganzen Drehung zwei Umdrehungen. Dieses Getriebe ist von Galloway zuerst angegeben worden, und zwar unter der Angabe des Kraftschlusses durch Schwungmassen als des Mittels zur Ueberschreitung der Wechselpunkte. Auch nahm Galloway an, dass die Längen der Kurbeln *a* und *c* sich wie 1:2 verhalten müssten, was, wie man sieht, eine unnöthige Einschränkung ist.

Behufs Paarschliessung der Kette ist die Kenntniss von deren Polbahnen erforderlich. Da die gegenüberliegenden Gliederpaare 2, 3 und 1, 4 gleich den Gliedern 4, 3 und 1, 2 sind, so fallen die beiden Polbahnenpaare identisch aus, weshalb in Fig. 159 (a. f. S.) nur eines dieser Kurvenpaare eingetragen ist. Die beiden Kurven haben eine nahe Verwandtschaft mit den einfacheren Polbahnen des vorigen Falles, indem sie sowohl ebenfalls innere Rollung haben, als auch in ihren Umfangslängen sich wie 1:2 verhalten; dagegen bekunden sie sofort das ungleichförmige Geschwindigkeitsverhältniss der beiden rotirenden Stücke *a* und *c*. Der leicht schraffirte und grössere Ast $2A2$ der Polbahn zu *a* rollt in dem Bogen ECF der Polbahn zu *c*, die Schleife $2B2$ in dem Bogen

EDF. In den Wechsellagen sind die Scheitel *A* und *C*, beziehungsweise *B* und *D* in Berührung. Indem wir daselbst Zähne

Fig. 159.



und Zahnlücken anbringen, erhalten wir auch hier vollständige Paarschliessung. Der Grundriss zu unserer Figur zeigt, wie man etwa die konstruktive Ausführung, soweit es die Anordnung be-

trifft, vornehmen, und die von Galloway empfohlene Kraftschliessung mit Vortheil würde ersetzen können. Es soll übrigens damit hier nicht für die praktische Verwendbarkeit des Mechanismus eingetreten werden; bisher erscheint er nicht über das, allerdings grosse, theoretische Interesse hinaus gelangt zu sein. Indessen kann man ja immerhin nicht wissen, ob nicht noch eine nützliche Verwendung auftaucht. Es braucht wohl nur eben bemerkt zu werden, dass ähnlich wie oben bei dem Mechanismus in Fig. 154, auch das zweite Polbahnenpaar bei der Paarschliessung hätte benutzt werden können.

Zu den Vorrichtungen, welche wesentlich den Zweck haben, die Todpunktüberschreitung zu bewirken, gehört auch der Windkessel der Feuerspritzen, Dampfpumpen, Wassersäulenmaschinen, ebenso derjenige des Blasebalges, sowohl des einfachen Handblasebalges, als des Schmiedeblasebalges und der Windbälge der Kirchenorgel, auch sogar der sogenannte Regulator der Cylindergebläse für Hochöfen und andere metallurgische Anlagen. Der Windkessel erfüllt gleichzeitig — ganz entsprechend dem Schwungrade der Kurbeldampfmaschine — den Zweck, die Bewegung des abströmenden Druckkraftorganes gleichförmig zu machen, d. h. er wirkt auch über den Todpunkt hinaus und bereits vor Eintritt desselben. Seine Wirkung beruht, abermals wie die des Schwungsrades, auf dem Kraftschluss; nur geht sie in dieser Beziehung noch weiter, indem auch dasjenige Organ, vermittelst dessen die Wirkung ausgeübt wird, die Luft, selbst noch kraftschlüssig ist.

Im allgemeinen ist in der Maschinenpraxis die interessante Beobachtung zu machen, dass die kettenschlüssige Ueberschreitung der Tod- und Wechselpunkte in Mechanismen mehr und mehr an die Stelle der kraftschlüssigen gesetzt wird. Zu ganz bedeutendem Theil baut man jetzt unsere Dampfmaschinen, namentlich diejenigen, welche umgesteuert werden müssen, als sogenannte gekuppelte oder Zwillingsmaschinen, d. h. als solche mit kettenschlüssiger Todtlage. Dies hat sich sogar auf jene gröbsten aller unserer Dampfmaschinen, diejenigen der Walzwerke, ausgedehnt, wo man früher die Schwungmassen als *conditio sine qua non* ansah. Die Nothwendigkeit des Umsteuerns bei Herstellung der Panzerplatten hat zunächst dahin gedrängt, um wahrscheinlich viele Nachfolge auch ohne diesen Zwang nach sich zu ziehen. Auch auf nicht umzusteuernde Landdampfmaschinen hat sich das Zwillingsprinzip ausgedehnt; die Lokomotiven und Schiffsmaschinen schei-

nen den Anlass gegeben zu haben, die Zweckmässigkeit der Einrichtung erhält und verbreitet sie. Nicht minder als bei den Dampfmaschinen sehen wir bei den obenerwähnten Gebläsemaschinen durch Vermehrung der Cylinderzahl, durch Zufügung besonderer Regulircylinder, deren Kolben durch Kurvenscheiben getrieben werden, sowie durch Anbringung anderer Vorrichtungen das Bestreben bethätigt, den Kettenschluss an die Stelle des Kraftschlusses zu setzen. Ohne Zweifel haben wir durchweg hier eine deutlich erkennbare Neigung des Maschinenwesens vor uns, seine älteren Formen zu verlassen, um zu solchen überzugehen, welche eine strengere Lösung der gestellten Aufgabe, nämlich eine bestimmtere Erzeugung der beabsichtigten Bewegungen ermöglichen.

SECHSTES KAPITEL.

BLICK AUF DIE ENTWICKLUNGS-GESCHICHTE DER MASCHINE.

„Wie viele Schöpfungen der Kunst, wie viele Wunder des Fleisses, welches Licht in allen Feldern des Wissens, seitdem der Mensch in der traurigen Selbstvertheidigung seine Kräfte nicht mehr unnütz verzehrt, seitdem es in seine Willkür gestellt worden, sich mit der Noth abzufinden, der er nie ganz entfliehen soll; seitdem er das kostbare Vorrecht errungen hat, über seine Fähigkeit frei zu gebieten, und dem Ruf seines Genius zu folgen! Welche rege Thätigkeit überall, seitdem die vervielfältigten Begierden dem Erfindungsgeist neue Flügel gaben, und dem Fleiss neue Räume aufthaten!" Schiller.

„Im Besitze des Gedankens der Weltentwicklung ist uns die Geschichte nicht mehr ein abgegrenzter Horizont, es wiederholt sich in ihr nicht mehr in ermüdendem Gleichmaass von Jahrhundert zu Jahrhundert das Nämliche; sondern in unermessener Tiefe folgt eine Daseinsform der andern, die Natur enthüllt uns in unendlicher Reihe ihre Wunder, und die Seele erhebt sich, ein himmlischer Genius, und rauscht mit gewaltigem Flügelschlag durch die Aeonen!" Geiger.

§. 48.

Anfänge und Fortbildung der Maschine.

Die Untersuchungen, welche uns in den beiden letzten Kapiteln beschäftigt haben, führen uns unwillkürlich in ein Gebiet, das zwar mit einer deduktiven Theorie des Maschinenwesens nicht nothwendig zusammenzuhängen scheint, welches aber wegen der Entstehung der Maschine im Menschengeist unser Interesse aufs

höchste beanspruchen darf, daneben aber auch thatsächlich für das Verständniss unseres Stoffes von wesentlicher Bedeutung ist: in das Gebiet der Entwicklungsgeschichte der Maschine. Freilich wage ich den Leser nur wenige Schritte in dasselbe hineinzuführen. Einestheils weil die Sache selbst, wie gesagt, nicht gerade mitten im Wege liegt, anderntheils weil zu wenig geordnete historische Forschung vorhanden ist, um mit der erwünschten Sicherheit das Bild überall konstruiren zu können.

Uebrigens ist Entwicklungsgeschichte hier nicht zu verwechseln mit Geschichte. Geschichte giebt uns in zeitlicher Folge die Reihe der individuellen Erscheinungen, die auch Rückschritt und Untergang sein können. Entwicklungsgeschichte dagegen sucht nur die Vorstufen zum bekannten Zustande; sie hebt in jedem sich entwickelnden Volke aufs neue an; ja sie spiegelt sich wieder in der Entwicklung jedes einzelnen menschlichen Individuums. Die Geschichte der Maschine lässt sich schon mit einiger Vollständigkeit geben, wenigstens für einzelne Abzweigungen, wie z. B. die Mühlen, die Fuhrwerke, die Dampfmaschine, und es geschieht auch in erfreulicher Zunahme immer mehr und mehr in dieser Richtung. Die Entwicklungsgeschichte der Maschine hingegen ist nicht möglich ohne vorhergehende Gestaltung der Begriffe von der Maschine, also gerade unseres Grundthemas, und aus solchen erst hervorgehende, noch unausgeführte Forschungen. Immerhin indessen lassen sich durch Reflexion aus dem Bekannten und dessen, was um uns herum vorgeht, einige Schlaglichter auf das Vergangene werfen. Dies ist es auch vorwiegend, was ich von dem gewonnenen Standpunkte aus jetzt versuchen möchte.

Wer die Entwicklung der Maschine verstehen lernen will, muss sich vor allem darüber klar werden, was wir vollkommen oder unvollkommen an der Maschine nennen. Von der Güte des Erzeugnisses der Maschine darf man auf ihre Vollkommenheit nur dann rückwärts schliessen, wenn man die Thätigkeit der Menschenhand ausscheidet. Gewisse indische Gewebe z. B. sind von ausgezeichneter Güte und Feinheit, obwohl sie auf einem sehr mangelhaften Webstuhl erzeugt sind; bei ihnen spielt vom Anfang der ganzen Herstellung an die Geschicklichkeit der mitwirkenden Menschenhand die bedeutendste Rolle. Die Menschenhand wird man aber bei keiner Maschine je ganz entbehren können, sei sie auch nur zum Einleiten oder Abbrechen des machinalen Prozesses erforderlich. Es bleibt demnach übrig, dass die vollkommenere Maschine den ihr

zugewiesenen Antheil an der Aufgabe besser erfülle, und dass dieser Antheil selbst ein grösserer Bruchtheil der ganzen Aufgabe sei. In diesen beiden Richtungen, der intensiven und der extensiven, sucht in der That die heutige Maschinen-Industrie voranzuschreiten. Beide wirken zudem aufeinander ein, so zwar, dass nach Erzielung jeder besseren Erfüllung des gegebenen Zweckes alsbald, wie durch Naturtrieb, auch eine Ausdehnung des Antheils an der Aufgabe folgt.

Das Ziel, welches wir uns hier zu setzen haben, ist nun nicht sowohl dasjenige, die allmähliche Zunahme der Leistungen der Maschine und die Erweiterung ihres Anwendungskreises festzustellen, als vielmehr dasjenige, ausfindig zu machen, welche Mittel die Befähigung der Maschine so gesteigert haben, wie wir es vor uns sehen, d. h. welches der allgemeine Inhalt ihrer Verbesserungen gewesen ist. Noch genauer gesprochen handelt es sich für uns hier darum, worin die allmähliche Verbesserung der machinalen Mittel ihrem Wesen nach bestanden hat. Je klarer wir uns dieses machen können, je mehr wir die Vorstellung hiervon aller Nebenbegriffe zu entkleiden und für sich objektiv hinzustellen vermögen, um so eher kann es uns künftig gelingen, bewusst auf dem Wege der Vervollkommnung der Maschine voranzuschreiten.

Wir müssen, um unsern Zweck zu erreichen, die Maschine womöglich von ihrer Entstehung an verfolgen.

Sucht man historisch nach den Anfängen der Maschine, so wird man immer weiter und weiter in die Vergangenheit zurückgeführt. Alle Völker, welche in die Geschichte eintreten, zeigen sich mehr oder weniger mit Maschinen, wenn auch von unvollkommener Art, ausgerüstet. Die wirklichen Anfänge finden wir bei ihnen nicht, nur von Fort- und Ausbildungen geben ihre Ueberlieferungen uns Auskunft. Wir sind daher gezwungen, das historische Gebiet zu verlassen und auf das vorhistorische zurückzugehen. Zunächst kann dies künstlich dadurch geschehen, dass wir das ethnographische Gebiet betreten, nämlich auf das Studium der Naturvölker eingehen, welche nach unserer berechtigten Annahme auf Entwicklungsstufen stehen, die von allen kultivirten Bevölkerungen des Balles einst durchlaufen worden sind. Denn mehr und mehr führt die Forschung zu der Ueberzeugung, dass die menschliche Art im grossen Ganzen auf gleicher Stufe überall Aehnliches hervorbringt, dass sie nach grossen ihr innewohnenden Naturgesetzen vorschreitet[23]). Je weiter wir indessen hier eindringen, und wenn wir das

Gefundene zusammenhalten mit den uns jüngst zugänglich gewordenen Resten gänzlich untergegangener und vorgeschichtlicher Kulturen und Halbkulturen, um so deutlicher wird uns, dass wir nicht das Maschinenwesen allein rückwärts zu verfolgen vermögen, sondern dass dasselbe sich verflicht mit der Gesammtheit der Entwicklung der Völker, ja des Menschengeschlechts. Wir bemerken, mit anderen Worten, dass die Forschung genöthigt ist, in die dunkelen Fernen der Entwicklungsgeschichte der Menschheit hinaufzusteigen, um die ersten Keime, die ersten Wurzelfäden der Begriffe aufzufinden, welche im Laufe ungezählter Jahrtausende sich langsam fortgebildet haben, bis in entwickelte Zivilisationen hinein, durch hohe Kulturen und zwischen untergehenden hindurch, um dann endlich bei den Abendländern in den letzten zwei Jahrhunderten ihren bis heute im Steigen gebliebenen Aufschwung zu empfangen. Es ist deshalb theils beim Archäologen, theils beim Philologen, theils beim Ethnographen und Anthropologen, dass wir unserem Gegenstande nachzugehen haben.

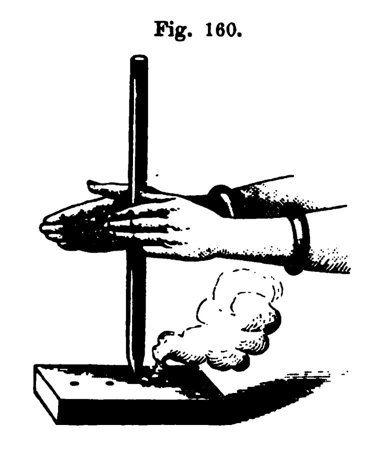
Neben dem Studium der gefundenen oder bloss durch Ueberlieferung erhaltenen Reste hat man noch das viel feinere, mittelbare der in der Sprache selbst erhaltenen Spuren des Entwicklungsganges der menschlichen Fähigkeiten zu Hilfe genommen und ist in der sogenannten linguistischen oder glottischen Archäologie zu namhaften Resultaten gelangt. Einem Linguisten verdanken wir auch einen beachtungswerthen und eindringenden Versuch, die ersten Anfänge der Maschine aufzuspüren. Der seiner Wissenschaft leider schon durch den Tod entrissene Sprachgeschichtsforscher Geiger hat in zwei veröffentlichten Vorträgen über die Entstehung des Werkzeuges und die Entdeckung des Feuers*) einige Grundlinien gezogen, welche der Fachmann, der dem vorhistorischen und historischen Fortgang bis heute folgen will, nicht ausser Acht lassen sollte. Geiger zieht in seiner gedankenreichen kleinen Schrift aus vielseitigen und tief gehenden Erwägungen den Schluss, dass die Drehbewegung die erste gewesen, welche der Mensch durch Einrichtungen, die ich machinale genannt, erzeugt habe. Das Reibholzfeuerzeug, welches bei den religiösen Handlungen des indogermanischen Urvolkes als „Doppelholz“ eine bedeutende Rolle spielt, und dessen sich wilde Völkerschaften noch heute so vielfach bedienen, ist nach ihm eine der ersten, wenn

*) Geiger, zur Entwicklungsgeschichte der Menschheit. Stuttgart 1871.

nicht die allererste Maschine oder erste Vorrichtung, welche diesen Namen verdient, gewesen *), und zwar in einer so frühen Zeit, dass in ihr wahrscheinlich das Feuer noch nicht zu häuslichen Zwecken, sondern nur zu kultlichen verwendet wurde. Denn wichtige Gründe sprechen mehr und mehr dafür, dass das Menschengeschlecht eine feuerlose Zeit insofern durchlebt hat, als es „das freundliche Element" noch nicht in seinen Wohnstätten sich dienstbar machte, während es schon an heiliger Stätte in ihm die hohen waltenden Mächte verehrte.

Ein am untern Ende roh zugespitzter Holzstab wird senkrecht auf ein anderes Holzstück in eine leichte Anbohrung desselben gesetzt und schnell zwischen den Handflächen quirlartig hin- und hergedreht, bis die sich abreibenden Holzspähnchen, beigestreute Baumwollfasern oder Markstückchen Feuer fangen, Fig. 160 **).

Fig. 160.



Die Hände treiben dabei nicht bloss das (in unserer Zeichnung etwas zu sehr europäisirte) Rollholz um, sondern sie drücken es auch abwärts gegen das liegende, mit den Zehen oder den Knieen festgehaltene zweite Holzstück, so dass eine allmählich abwärts gehende Bewegung der Hände entsteht. Bei schwer entzündlichem Holz müssen deshalb zwei Menschen zusammen arbeiten, von denen der zweite den Stab oben zu quirlen beginnt, wenn der erste unten angelangt ist [24]). Sehr ähnlich scheinen den Beschreibungen nach die noch heute von den Bramahnen benutzten Feuerquirle beschaffen zu sein, obwohl gewisse, nicht ganz gleichgültige Unterschiede vorhanden sein mögen.

In späterer Zeit, welche wohl schon sehr weit von der Entstehungsperiode des Doppelholzes, dieses ersten Erzeugnisses des erwachenden Machinalbegriffes abliegt, wird eine Schnur einigemal um das Reibholz gewunden, an ihren Zipfeln mit den Händen ge-

*) Auch Klemm spricht sich vorübergehend (K. W. III. §. 392) hierfür aus.

**) Siehe: Tylor, Early history of mankind. London 1870. §. 241, auch Klemm, allgemeine Kulturwissenschaft, Leipzig 1858. II. Bd. §. 66.

fasst, und hin- und hergezogen, so dass erst durch ihre Vermittlung dem Stabe die Quirldrehung ertheilt wird, Fig. 161.



Fig. 161.



Das obere, nun ebenfalls zugespitzte Ende des Rollholzes wird dabei vermittelst eines dritten, dem unteren ähnlichen Holzstückes in seiner Lage gehalten, welches der Gefährte des Quirlenden festhält und nach unten presst*). Man muss sich, wenn man einigermaassen in unsere Urgeschichte eindringen will, darüber klar werden, dass als Veranlassung zur anderartigen Verwendung und Verbesserung einer so merkwürdigen Vorrichtung die weitestgehende Gewöhnung vorauszusetzen ist. Von dieser letztern bekommt man eine Vorstellung, wenn man erfährt, dass bei den Indern, dem Stammvolke der Bewohner Europas, im letzten Monat des grossen Opferfestes an jedem Tage 360mal mit neun verschiedenen Holzarten, welche ritualisch vorgeschrieben sind, das heilige Feuer entzündet wird.

Die in den Ausgrabungen gemachten Funde lassen mit grosser Sicherheit schliessen, dass die Urmenschen ähnlich, wie eben beschrieben, jene Bohrer getrieben haben, mit welchen sie zu unserm

---

*) Die obenstehende Figur entnehme ich wie die vorhergehende dem oben angeführten Werke von Tylor. Sie stellt nach einer aus dem vorigen Jahrhundert herrührenden Zeichnung zwei Eskimos beim Feuermachen vor. Tylor führt noch eine Reihe anderer, mehr oder weniger aus jüngeren Perioden stammender „Feuerbohrer“ (fire-drills), wie er sie nennt, an.

Staunen in Holz, Knochen, Hirschhorn und sogar sehr harte Steine Löcher zu bohren verstanden. Die Wilden verschiedener Erdstriche bedienen sich auch heute des Quirlgetriebes zum Bohren. Ja es hat sich neuerdings herausgestellt, dass die von Humboldt und Bonpland in Südamerika vorgefundenen tief ausgebohrten und in Thiergestalten fein skulpirten Smaragde, Bergkrystalle und Nephrite, deren Herstellung die Reisenden einer untergegangenen höheren Kultur zuschrieben, mit dem einfachen hölzernen Bohrquirl nach Fig. 160 oder vielleicht auch einem solchen nach Fig. 161 hergestellt worden. Das Geheimniss war, dass dabei der bohrenden Spitze Schleifsand und Wasser zugeführt werden. Ein einziges Stück erfordert freilich Jahre, ja ein bis zwei Menschenalter, um fertig zu werden[25]). In ein noch ganz anderes Licht tritt diese ganze Frage durch den Umstand, dass die heutigen Wörter für bohren keineswegs ursprünglich den Begriff des Herstellens einer runden Vertiefung oder Durchdringung, den wir heute so bestimmt mit ihnen verbinden, an sich tragen. Sie gehen vielmehr alle mehr oder weniger deutlich auf reiben, wühlen, nagen zurück, womit das Abschleifen, Glätten, durch Reiben Gestalten in nahem Zusammenhang steht*).

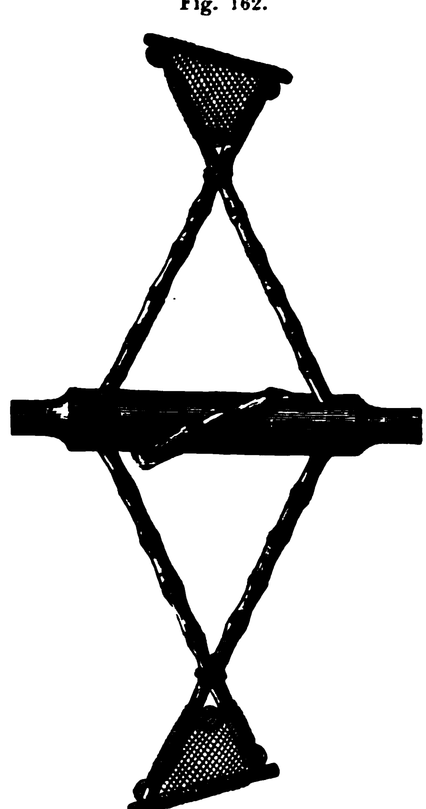
Welche Zeitläufte dahinflossen, bis man von der hin- und hergehenden Drehung des Bohrquirls auf die dauernde, nicht absetzende kam, bleibt der blossen Vermuthung anheimgegeben. Auf jeden Fall müssen diese Zeiträume von einer Grösse gewesen sein, welche die unserer historischen weit hinter sich zurücklässt. Gewiss ist, dass die unterschlächtigen Wasserräder, welche wohl die ersten Repräsentanten dauernd umlaufender Maschinen sind, aus uralter Zeit stammen, dennoch aber eine nicht geringe Kultur verrathen. Da wenigstens, wo sie zur Bewässerung benutzt werden, setzen sie bereits sesshafte, den Boden bebauende Bevölkerungen voraus. Ueberlieferungen über ihre in Mesopotamien gebräuchliche, mit der heute dort erhaltenen merkwürdig übereinstimmenden Form, wo das aus Holz gebaute Rad mit thönernen Schöpfzellen ausgerüstet war, sind uns erhalten**). Die in China noch heute üblichen Schöpfräder ältester Art, deren Fig. 162 (a. f. S.) eines darstellt, bestehen mit Ausnahme der aus Holz gefertigten

*) Siehe Geiger, Ursprung und Entwicklung der menschlichen Sprache und Vernunft. (1872.) II. S. 54.

**) Plinius, XIX, 22.

Achse ganz aus Bambus und Stuhlrohr ohne jede Metallzuthat, und sind auf hölzerne oben gabelförmig ausgearbeitete Pfosten gelagert. Sie haben 6 bis 12 Meter Durchmesser und giessen das beim Eintauchen der Bambuskübel geschöpfte Wasser in einen weiten Trog, aus welchem eine Rinne nach dem Lande zuführt. Geiger, der von diesen Rädern nicht spricht, stellt ihnen an Alter die in thibetanischen und japanischen Buddah-Tempeln noch heute gebräuchlichen Gebeträder voran. Sie sind theils Windräder, theils unterschlächtige Wasserräder; ihren Kultusgebrauch weist Geiger mit Feinheit als aus der ehrfürchtigen Betrachtung gerade der unablässigen Drehbewegung quellend nach. Auf weitere uns hier vor der Hand interessirende Beispiele geht dieser Schriftsteller nicht ein.


Fig. 162.



Die Töpferscheibe, den Pfahlbauern noch unbekannt, ist wahrscheinlich jenen Wasserrädern nicht vorzudatiren, stellt aber jedenfalls eine frühe Anwendung der mehr oder weniger dauernden Drehbewegung dar; wir haben vielleicht anzunehmen, dass der Benutzung der die eingeleitete Drehung erhaltenden Schwungmasse die Methode vorangieng, dass ein Gehilfe des Topfmachers die Scheibe mit den Händen quirlartig umtrieb.

Hoch interessant ist die Frage nach der Entstehung des Wagens und der Wagenräder, da letztere als kinematische Vorrichtungen wichtige Rückschlüsse auf das Vorhandensein anderer machinaler Einrichtungen erlauben. Bei Griechen, Aegyptern und Vorderasiaten finden wir schon sehr früh den Wagen, namentlich

den zweirädrigen, in Anwendung [26]). Seine Einführung schritt ersichtlich von Osten nach Westen fort; lange diente derselbe bei den Aegyptern und Griechen als der vornehmste, beinahe der einzige Vermittler des Transportes durch Pferde überhaupt, sei es im Kampf, sei es im Verkehr und öffentlichen Aufzug. Denn das Reiten kam bei diesen Völkern erst spät, und zwar von Osten und Norden her, in Gebrauch. Die homerischen Helden sind nicht beritten, sondern kämpfen zu Wagen; ja die Reiter werden in der homerischen Zeit noch als wilde ungesittete Naturmenschen aufgefasst, wie der Kentaurenmythus andeutet. Die Assyrer dagegen gebrauchen nach dem Ausweis der uns erhaltenen Reliefdarstellungen schon früh das Pferd sowohl zum Fahren als zum Reiten. Der Streitwagen ist in jener Zeit ein kostbares Kriegsgeräth, dessen Mehrbesitz, ähnlich unseren heutigen Geschützen, einem Heere von Haus aus Vortheil über das gegnerische gibt. Wir wissen z. B. aus der Bibel (Richter I, 19), dass die Israeliten beim Eindringen in Palästina den Mangel an Wagen schwer empfinden mussten. Obgleich Juda das Gebirge in Besitz nahm, konnte er dennoch die Thalbewohner nicht vertreiben, „darum dass sie eiserne Wagen hatten“ (vergl. auch Richter IV, Debora's Sieg). Erst 200 Jahre später wurde durch David, welcher u. a. den Syriern in einem grossen Siege 700 Wagen abnahm (2. Sam. X, 18), dem Mangel dauernd abgeholfen [27]).

Aegyptische und altassyrische wie griechische Bildwerke und Aufzeichnungen, neben einzelnen erhaltenen Wagen und Resten von solchen, geben uns vielfach Gelegenheit, die nähere Beschaffenheit der antiken Räderfuhrwerke kennen zu lernen. Die Assyrer und Aegypter benutzten meistens Räder mit sechs, bei grösserem Durchmesser und gröberer Ausführung mit acht, zehn und zwölf Speichen, die Griechen vorzugsweise solche mit vier Speichen. Die Konstruktionsweisen mit wenig Speichen sind die ausgebildeteren und feineren, und gehen aus dem ursprünglichen Holzbau durch einen Mischbau aus Holz und Metall endlich ganz zum Metall- (Bronze-) Bau über [28]). Einfach scheibenförmige, also roher hergestellte Räder werden in den erwähnten Abbildungen den weniger zivilisirten Völkerschaften Kleinasiens zugeschrieben. Auch im heutigen Indien finden sich an den Wagen der Hindus neben sehr vielspeichigen auch rohe scheibenförmige Räder, welche auf eiserne oder hölzerne Achsen gesteckt sind. Bei der älteren Form des antikrömischen Frachtwagens, Plaustrum genannt, waren eben-

falls scheibenförmige Wagenräder angewandt, und zwar mit der bemerkenswerthen Eigenthümlichkeit, dass die beiden Räder **mit vierkantiger Mittelhöhlung auf die hölzerne Achse gesteckt waren**, welche letztere sich mit runden Zapfen am Wagengestell drehte. Noch bis heute soll diese Bauart sich in Portugal erhalten haben [29]). Auf Formosa bauen die Eingeborenen ebenfalls ihre Wagen so [30]).

Schwerlich höheren Alters, wenn nicht jünger als die angeführten antiken Fahrzeuge, sind diejenigen bronzenen Miniaturwagen, welche in Grabhügeln der norddeutschen Ebene, auf Schonen u. s. w. gefunden worden sind, und von denen u. a. das römisch-germanische Museum in Mainz treffliche Nachbildungen enthält. Man nimmt sie für Abbilder von Wagen für den Kultusgebrauch*), und zieht sie in Parallele mit den Kesselwagen im salomonischen Tempel; doch sprechen gewichtige Stimmen sich auch völlig abweichend aus. Merkwürdig ist, dass ihre Rädchen meist vier Speichen, wie die Mehrzahl der griechischen Wagen, haben.

Aber auch schon vor den Zeiten, aus welchen die besprochenen Fahrwerke stammen, war der Wagen bekannt. Die älteste indische Literatur erwähnt seiner wiederholt. So heisst es in der Riksanhita unter anderem:

(X, 89, 4) Zwei Räder gleichsam mit der Achse machtvoll
Trennend befestigt Himmel und Erde Indra ..

und an einer anderen Stelle:

(VIII, 6, 38) Wie nach dem Rosse rollt das Rad, so beide Welten hinter dir ..

und ferner bei Schilderung von Tag und Nacht:

(I, 185, 2) Sie tragen durch die eigene Kraft das Weltall, es drehen gleich zweien Rädern Tag und Nacht sich ..
Sie zwei, nicht gehend, füsselos, besitzen vielfache gehende fussbegabte Sprossen ..

u. s. f., welchen Stellen solche über reiche Schmückung des Wagens, über Pflege und Züchtung des Pferdes sich mehrfach anreihen liessen. Aus diesem Reichthum poetischer Verwendung des Bildes vom beräderten Wagen lässt sich schliessen, dass derselbe zur Zeit der Vedendichtung (vor 1700 v. Chr.) bereits von hohem Alter war.

So geht denn, wenn man die unerlässlichen Zwischenstufen einschaltet, der Gebrauch des Wagens immer höher hinauf, hinauf

*) S. Lisch, über die ehernen Wagenbecken der Bronzezeit, Schwerin 1860.

bis in die grauen Zeiten, welche weit vor der geschichtlichen Periode liegen, und welche nur durch die einsame Leuchte der sprachlichen Forschung zur Dämmerung aufgehellt werden können. Diese Forschung ihrerseits scheint dahin zu führen, dass der Wagen nicht aus der Schleife, dem schlittenartigen, kastenförmigen Bauwerk, sondern aus dem rollenden Körper, dem Rade selbst, ausgebildet worden sei [31]). Man hat sich vielleicht zu denken, dass aus dem rollenden Baumstamm, dann der unter Lasten gelegten Walze, welcher das scheibenförmige Rad und insbesondere das formosanische Räderpaar noch nahe steht, die allmähliche Entwicklung stattgefunden habe [32]). Hiermit rückt aber der Wagen in die Anfänge alles Kulturlebens, in die Zeit der ersten geselligen Herstellung künstlicher Wohnstätten hinauf, und reiht sich somit den urältesten Erfindungen des Menschengeschlechtes an.

Im historischen Alterthume setzte sich die oben besprochene Art des Bohrerbetriebes fort. Homer gibt uns Od. IX, 384 ff. eine deutliche Beschreibung davon:

> ... Wie mit dem Bohrer ein Mann den Balken des Schiffes
> Bohrt; und jene von unten herum ihn drehen mit dem Riemen
> Fassend an jeglicher Seit', und stetiges Laufs er hineindringt. ...
> Also ... dreheten wir ...

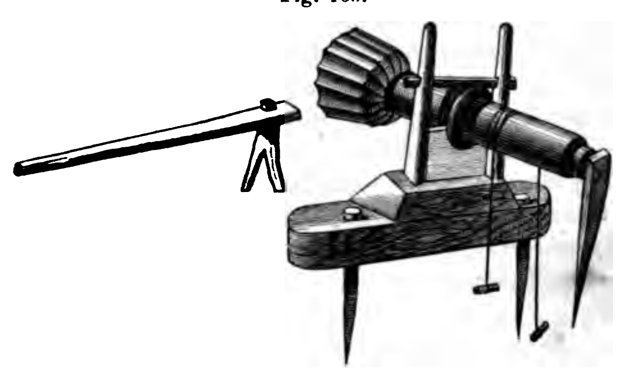
Diese offenbar zur homerischen Zeit sehr gebräuchliche Arbeitsweise der antiken Zimmerleute erfordert drei Arbeiter, was wir wahrscheinlich auch für die Bohrung der grossen Steinbeile bei den vorgeschichtlichen Menschen anzunehmen haben.

Es verdient hier hervorgehoben zu werden, dass die Erzeugung einer cylindrischen Bohrung, also des Hohlcylinders, ungleich älter sein muss, als die des Vollcylinders oder überhaupt eines seine Fläche nach aussen kehrenden Drehkörpers. Die Bildung eines Bohrloches gelingt selbst bei sehr unvollkommener Gestalt des schneidenden Werkzeuges, da der Hohldrehkörper ungefähr gleich leicht entsteht, ob seine Erzeugende (die Schneidekante des Werkzeugs) regelmässig gestaltet ist oder nicht. Ein beliebiger Feuersteinsplitter war deshalb schon zum Bohren in Holz, Knochen oder Hirschhorn geeignet, wenn er nur scharf war und sich erträglich befestigen liess [33]). Das Abdrehen eines Körpers dagegen erfordert schon, ehe ein Meissel nur mit Erfolg angesetzt werden kann, eine machinale Lagerung des abzudrehenden Stückes, welche diesem die Drehung um eine feste geometrische Achse ermöglicht. Es war, wie mir sehr wahrscheinlich vorkommt, die Töpferscheibe,

welche den Weg zur Drehbank gewiesen hat. Erwiesenermaassen ist das Bohren um grosse Epochen älter, als der Gebrauch der Töpferscheibe und diese jedenfalls früher vorhanden, als die Drehbank.

Wohl eine der ältesten Formen dieser letzteren Maschine ist in der bei den Kalmücken noch heute gebräuchlichen Drehbank zu finden. Sie hat, wie die folgende Figur darstellt*), eine horizontal gelagerte hölzerne Spindel, welche mittelst eines zwischen den


Fig. 163.



Lagern um sie geschlungenen Riemens ganz wie der Feuerquirl in Fig. 161 durch einen Gehilfen des Drechslers in Bewegung gesetzt wird. An dem freitragenden Ende der Spindel wird der zu drechselnde Gegenstand befestigt. Der Drehkünstler pflöckt seine Maschine einfach in den Boden, setzt die wie ein kleiner Stiefelknecht geformte „Vorlage" heran, und beginnt seine Arbeit. Er fertigt verhältnissmässig sehr sauber gearbeitete Geräthe auf seiner einfachen Vorrichtung**). Beachtungswerth ist, dass er vorzugsweise Schalen aus Holz, Horn, Metall u. s. w. herstellt. Dies hängt eng zusammen mit der Bauart seiner Drehbank, indem der Mangel der zweiten Stütze für das abzudrehende Stück, des sogenannten Reitstockes, ihn auf niedrige, gedrängte, auch flache und gehöhlte Gegenstände hinweist. Zugleich aber deutet beides, Bauart und Erzeugniss, wohl entschieden auf die Töpferscheibe als Mutter der Drehbank hin. Zu demselben Schlusse führt der Umstand, dass bei den Römern[34]) der Drechsler ausser Tornator auch Vascularius***), also Schalenmacher oder Schälchenmacher hiess.

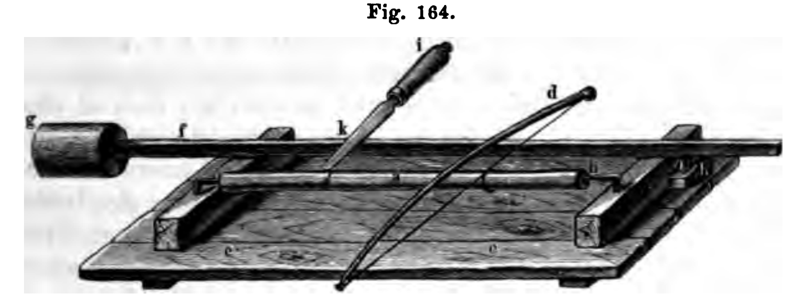
*) Nach Klemm's Kulturwissenschaft I, S. 387. — **) Siehe Bergmann, Nomad. Streifereien u. d. Kalmücken (Riga 1804). II, 171. — ***) Cic. Verrin. IV, 24.

Ja sollten auch die beiden Ausdrücke nicht für einander gebraucht worden sein, so wissen wir wenigstens, dass der Vascularius sich der Drehbank vielfach und mit grossem Geschicke bediente, wie erhaltene Gefässe und Bruchstücke von solchen zeigen. Somit zeigt sich dann die Schalendrehbank als das Mittelglied zwischen der Töpferscheibe und der Drehbank für stabförmige Gegenstände aus beliebigem Material. Neuerdings hat sich der kalmückische Drechsler von seinem oben erwähnten Gehilfen emanzipirt, wenigstens für leichtere Arbeiten, indem er den einen Zipfel der Treibschnur mit der linken Hand, den anderen mit den Zehen des linken Fusses regiert, während er mit der Rechten den Meissel führt.

Die römischen Drechsler trieben ihre Kunstfertigkeit sehr weit, indem sie z. B. äusserst dünnwandige steinerne Schalen herzustellen wussten, ja auch Glasgefässe zu drechseln verstanden, wie aus antiken Gefässbruchstücken der Minutoli-Sammlung hervorgeht. Doch darf man ihre Meisterschaft nicht bloss in der Geschicklichkeit suchen, wie daraus hervorgeht, dass sie grosse steinerne Säulen oder Trommeln zu solchen auf der Drehbank bearbeitet haben*).

Dass die alten Aegypter sich der Drehkunst und gedrehter Gegenstände bedienten, steht fest, weniger ihre Arbeitsweise [35]). Vielleicht dürfen wir die heute noch in Aegypten gebräuchliche Drehbank, welche in der folgenden Figur dargestellt ist, als in gerader

Fig. 164.



Linie aus dem alten Pharaonenreiche abstammend ansehen. Dieses seltsame Geräth ist von urthümlicher Einfachheit. *a* ist das zu drechselnde (Holz-) Stück. Es dreht sich bei *b* und *c* zwischen eisernen Spitzen, und zwar wird es vermittelst des Fidelbogens *d* quirlartig umgetrieben. Der hölzerne Quersteg bei *b* ist an der tischartigen

*) Siehe Ottfr. Müller's Archäologie der Kunst nach Klenze in Böttiger's Amalthea, III. S. 72.

Unterlage *e* befestigt; der zweite Quersteg *c* dagegen ist verstellbar, und zwar steht er einfach lose auf der Planke *e*. Er wird in seiner richtigen Stellung durch das Gewicht der Eisenstange *f*, die noch durch einen Stein *g* belastet ist, festgehalten. Die Stange *f* selbst ist neben dem Querholz *b* mittelst eines Stiftes *h* eingelenkt. Die eisernen Spitzen bei *b* und *c* sind ohne weiteres wie Nägel in die beiden Querhölzer eingeschlagen. Was die Anwendung betrifft, so hockt der Drechsler hinter seinem Geräth am Boden und bewegt mit der Linken den Fidelbogen *d*, während er mit der Rechten den Meisselgriff *i* gefasst hält. Bei *k* drückt er das Werkzeug mit der grossen Zehe des rechten Fusses auf die Vorlage *f*. Seine Geschicklichkeit wird sehr gerühmt*). Bei diesem merkwürdigen Geräth, bei dem der Kraftschluss in weitgehender Weise ausgebeutet ist, kann ein unmittelbarer Uebergang zwischen Töpferscheibe und Drechselbank allerdings nicht gefunden werden. Indessen ist es auch wiederum unwahrscheinlich, dass Südeuropa die ägyptische Drehbank irgendwie zum Vorbild genommen habe, weil deren Bauart unmittelbar mit der hockenden Stellung des Arbeiters zusammenhängt, die den Gewohnheiten des Abendländers nicht entspricht.

Im Mittelalter findet sich eine ohne Zweifel aus der Antike stammende Drehbank, bei welcher die Betriebsweise zwar auch an die des Feuerquirls angelehnt, aber doch schon bedeutend verbessert ist. Sie ist bis heute in Italien oder überhaupt in Süd-Europa im Schwange geblieben. Die Einwirkung der Menschenkraft ist auch hier von der zweimännischen auf die einmännische zurückgeführt. Der Drechsler arbeitet nämlich so, dass er eine Schnur oder einen Riemen um die Drehbankspindel, oft auch um das zu drehende Stück selbst geschlungen hat — letztere Form ist ohne Frage als die ältere anzusehen — welche oben an der Decke an einem federnden Holzstab, unten an einem kunstlosen Tritt befestigt ist, Fig. 165. Das Trittbrett wird mit dem Fusse abwärts gedrückt, vermittelst der Schnur aber durch die Holzfeder wieder in die Höhe gezogen; das zu drehende Stück macht dabei die Quirlbewegung, bei deren Vorwärtsgang der Drechsler den Meissel einwirken lässt**). Eine italiänische Drechslerwerkstatt macht auf den modernen Ingenieur einen seltsamen Eindruck mit ihrer mit Holzfedern und Stricken labyrinthisch bespannten Decke; sie darf

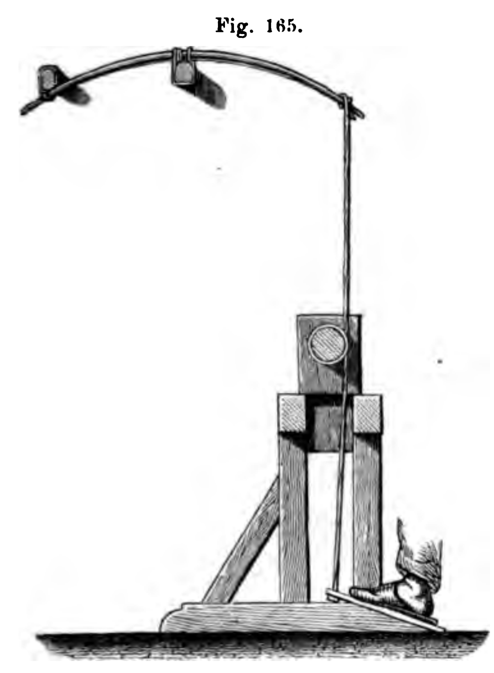
*) Siehe Descr. de l'Egypte (II. Aufl., 1823), Bd. XII, S. 452, Taf. XV.

**) Von Laboulaye, Cin. 841, S. 463, wird die vorliegende Drehbank „tour en l'air“ genannt.

muthmaasslich als eine ziemlich getreue Kopie einer wirklich antik-römischen Werkstatt angesehen werden.

Für kleinere Dreh- und Bohrarbeiten benutzen wir auch heute bekanntlich noch die Quirlbewegung. Die beiden Enden der Betriebsschnur sind dabei an einem stählernen „Fidelbogen“ befestigt, die Schnur um einen kleinen Wirtel geführt. Das einfache Hin- und Herziehen des Fidelbogens, dessen Federkraft im Gegensatz zu dem obigen Federbalken nun immer gleich stark gespannt ist, bewirkt die Quirldrehung des Wirtels. Letzterer wird beim „Drehstühlchen“ des Uhrmachers zwischen Körnspitzen oder auch von Lagern getragen, beim blossen Bohren aber auch nur gegen das ursprünglichere „Brustbrett“ gestemmt. Der Fidelbohrer muss von hohem Alter sein, da er bei den Chinesen in einer sehr schlichten Form *) durchaus verbreitet ist, auch bei den Kalmücken in zwei verschiedenen Formen vorkommt **), nicht minder die Aegypter denselben nachweislich schon um 1500 v. Chr. gebraucht haben ***). Ja, neuere Entdeckungen haben es höchst wahrscheinlich gemacht, dass die untergegangenen Völkerschaften, welche vor den uns bekannten Indianern Amerika bewohnten, ebenfalls damit bekannt und vertraut waren †). Beim Drehstühl-

Fig. 165.



*) Siehe Klemm, K. W. I. S. 385.

**) S. Bergmann, Nomad. Streifereien, II, S. 93.

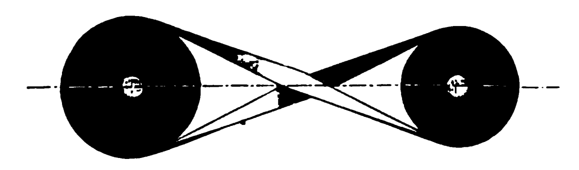
***) S. Weiss, Kostümkde. I. (1860), S. 96; auch Wilkinson, Ancient Egyptians (1871), I, S. 56.

†) S. Rau, Drilling Stone without Metal, Smithsonian Report 1868, S. 398, wo steinerne und beinerne Wirtel der Bohrspindeln aus der Steinzeit nachgewiesen sind.

chen unseres Uhrmachers und Präzisionsmechanikers verschwindet der Fidelbogen heute langsam, um dem Schnurtrieb nach Art des in Fig. 142 dargestellten Riementriebes Platz zu machen. Man erkennt aber aus dem Ganzen, wie schwer der Uebergang von der Quirlbewegung zu der dauernden Drehbewegung mittelst Schnur- und Riemenbetriebes gewesen sein mag.

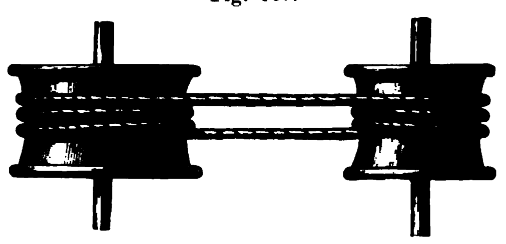
Um welche Zeit diese letztere Betriebsweise aufgekommen ist, scheint noch nicht festgestellt zu sein. Jedenfalls spricht die Verbreitung des Schnurtriebes zur Bewegung der Spindel bei fast allen asiatischen Völkern für sein hohes Alter. Allem Anschein nach war der gekreuzte Riemen, Fig. 166, der ältere, und gieng

Fig. 166.



diesem wieder die Einrichtung voran, dass der Riemen oder die Schnur, gekreuzt oder offen, um beide Rollen mehrmals gewunden ward, Fig. 167, damit kein Gleiten eintreten könne [34]). Bei

Fig. 167.



der letzteren Einrichtung reichte ein selbst nachlässig und unvollkommen gebautes Gestelle aus, um die Bewegungsübertragung zu ermöglichen, da die mehrfach umgeschlungene Schnur bekanntlich eine ausserordentlich grosse Reibung auf der Rolle hat. Der Uebergang von der ebenfalls mehrmals umgelegten Quirlschnur zu unserem heutigen endlosen Riemen mag wohl hier zu finden sein. Die beiden Rollen in Fig. 167 sind dann zwei Quirlstäbe, deren Schnüre verbunden sind. Allmählich wird die Zahl der Umschlingungen auf eine und gar auf eine quasi halbe vermindert, wie in Fig. 166.

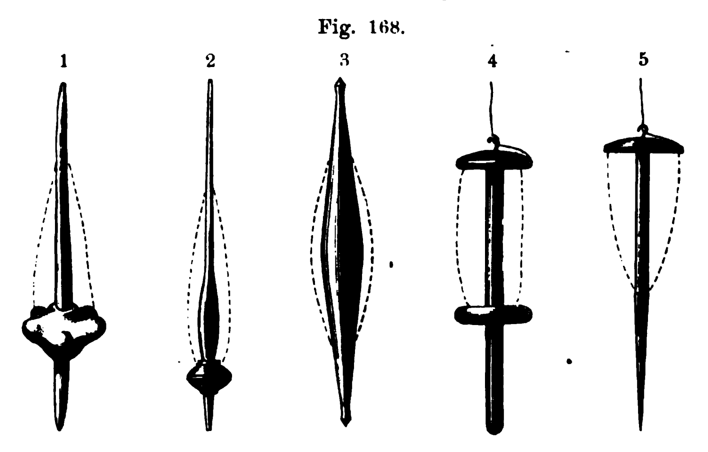
Damit ist denn zugleich die Anwendung des flachen breiten Bandes statt des schmalen oder runden Riemens angebahnt. Endlich taucht das Wagniss auf, den Riemen ungekreuzt aufzulegen. Vergessen wir dazu nicht, wieviel man bis in unsere Epoche hinein von der Spannrolle hielt, die noch zur Stunde in den Lehrbüchern der angewandten Mechanik als ein auffallend beliebtes Beispiel figurirt. Ja ich rufe endlich dem Leser, um ihm die Allmählichkeit der Umgestaltung begreiflich zu machen, ins Gedächtniss, wie schwierig noch heute vielen das Verständniss des Umstandes wird, dass beim Drahtseiltrieb das Treibseil locker auf die Rollen gelegt wird, womit das bei der Quirlschnur angewandte Prinzip bis zur äussersten Grenze getrieben erscheint.

Eine sehr wichtige Anwendung der Drehbewegung, welche wohl als eine frühe Stufe zum dauernden Drehungsbetrieb angesehen werden darf, ist diejenige auf das Zwirnen der Fäden, das Spinnen. In der Urzeit mag das Zusammendrehen der Fasern durch zwei Personen vorgenommen worden sein; dann gieng es auf eine über, welche den zu bildenden Faden mit der Handfläche auf dem Schenkel zusammenwrillte, wie es noch heute bei Indianerstämmen gefunden wird. Hiernach schien die Einführung der Spindel, und zwar zunächst der Handspindel, einer späteren, vielleicht schon historischen Epoche anzugehören. Indessen haben die Funde in den Pfahlbauten uns eines Besseren belehrt. Man hat daselbst vollständige Handspindeln aus der Steinzeit gefunden. Die Figur 168 1 (a. f. S.) stellt eine solche dar. Der Wirtel ist aus gebranntem Thon hergestellt und findet sich in zierlicher und geschmückter wechselnder Form vor, was einerseits den alten, mit Behagen behandelten Besitz, andererseits übrigens auch die jüngere Periode der Steinzeit andeutet.

Bei der Handspindel tritt die bedeutsame Entdeckung in Kraft, dass die irgendwie einmal eingeleitete Drehbewegung durch eine Schwungmasse für einige Zeit erhalten werden kann. Die in Böhmen und Schlesien noch hier und da im Gebrauch befindliche Handspindel stammt, wie man sieht, aus vorgeschichtlicher Zeit. Sie hat, s. Fig. 168 2, einen hölzernen, zinnernen oder thönernen Schwungwirtel und endigt unten wie oben in eine Spitze. Die obere wird von der Spinnerin mit zwei Fingern gefasst, um die drillende Bewegung einzuleiten und durch wiederholtes Nachdrehen zu erhalten, bis die Spindel den Boden erreicht, eine Antriebsweise, welche bekanntlich nach dem Märchen für Prinzessin Dornröschen ver-

hängnissvoll wurde. Diese Handspindel der deutschen Wirklichkeit und Sage ist indessen keineswegs die einzige, die in Europa erhalten blieb; in Unteritalien und Griechenland befinden sich vielmehr noch andere, jedenfalls auch sehr alte Arten bis heute in vollem Gebrauch. Zunächst die toskanische Spindel, Fig. 168 3, welche

Fig. 168.



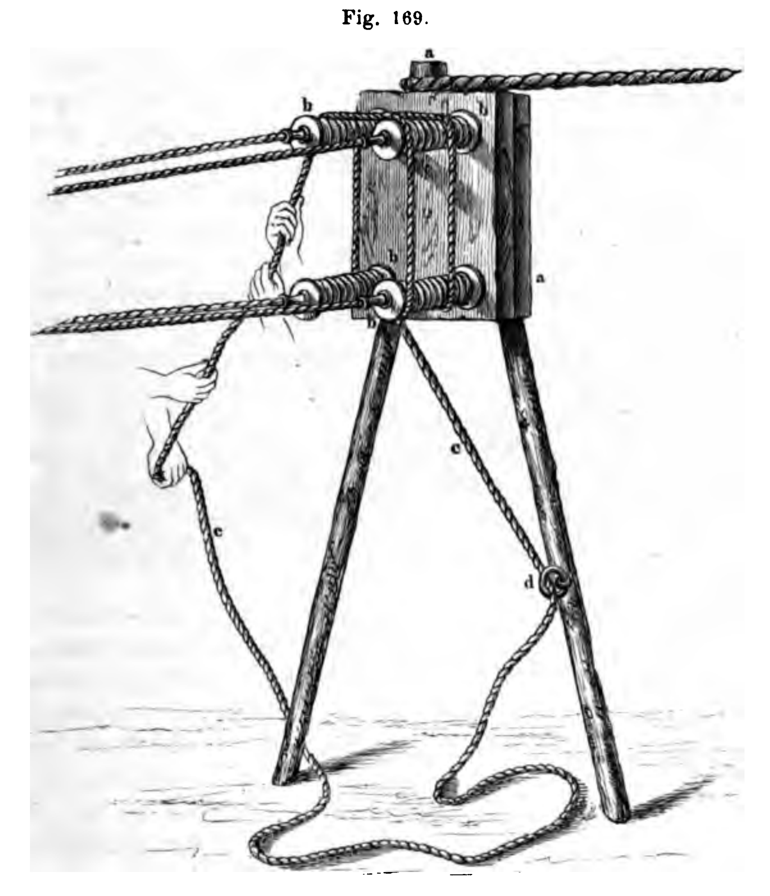
statt des Wirtels eine beträchtliche Verdickung in der Mitte hat, übrigens wie die deutsche gebraucht wird, und dann die in mehreren Variationen vorkommende unteritalische. Die Handspindel der neapolitanischen und der sicilischen Bäuerin, welcher unser Spinnrad völlig unbekannt ist, besteht aus Holz. Sie ist, abgesehen von kleinen örtlichen Verschiedenheiten, ein cylindrischer Stab mit zwei Scheiben, einer oben, einer in der Mitte, welche das fertige Gespinst zwischen sich fassen, Fig. 168 4. Die Spinnerin verrichtet ihre Arbeit meist sitzend, indem sie den Spindelschaft zuerst aufs Knie legt und ihn mit der flachen Rechten rasch darüber hinrollt. Die entstandene Drehung benutzt sie alsdann, um ein neues Fadenstück aus dem Rocken nachzuziehen, welches durch die Spindel vermittelst eines kleinen Drahthäkchens, das auf dem oberen Wirtel sitzt, gezwirnt wird. Allmählich hört die Drehung auf, während die Spindel tiefer und tiefer sinkt. Dann wird das gesponnene Fadenstück aufgewickelt, in das Häkchen geschlagen, und der frühere Vorgang aufs neue eingeleitet. Auch in Aegypten ist die Handspindel noch im Gebrauch. Fig. 168 5 zeigt ihre dort übliche Form, die mit einer der im alten Aegypten gebräuchlich gewesenen fast gänzlich übereinstimmt [35]). Sie wird, entsprechend der hockenden Stellung des Spinnenden (in Aegygten spinnen auch

die Männer) von unten mit den Fingern der rechten Hand angetrieben, während die Linke die Kunkel in die Höhe hält.

Die hier benutzte Art und Weise, eine einigermaassen dauernde und immer im selben Sinne erfolgende Drehung hervorzubringen, steht in beiden der Erzeugungsweise der urthümlichen Quirldrehung noch sehr nahe.

Zum Spinnen im weiteren Sinne gehört auch die Seilerei. Als sehr interessant für uns kann die in folgender Figur dargestellte ägyptische Seilerei-Vorrichtung gelten, welche zugleich eine be-

Fig. 169.



merkenswerthe Zwischenstufe zwischen unserem Riementrieb und dem uralten Quirl-Schnurgetriebe darstellt. Dieselbe wird noch heute von den Aegyptern bei dem sogenannten Zusammenschlagen

der bereits fertig gewirkten Litzen zu einem Seil, hier einem vierlitzigen, gebraucht, ist aber wahrscheinlich uralt. Die Litzen laufen von dem zweifüssigen Gestelle *a*, welches durch ein starkes Haltetau nach rückwärts verspannt ist, zu der Stelle hin, wo sie zum Seil zusammengedreht werden. Der europäische Seiler führt dort die Litzen über einen hölzernen, mit Leitkerben versehenen Konus, den sogenannten Seiltopf, hinter welchem die Verseilung vor sich geht, indem der fertige Theil des Seiles fortwährend um seine Achse gedreht wird. Der ägyptische Seiler indessen leitet die vier Litzen mit den Händen, indem er sie äusserst geschickt zwischen den Fingern durchgleiten lässt, und dabei langsam nach dem Spindelstocke *a* zu vorschreitet. Die vier Spindeln, an welchen die Litzen befestigt sind, müssen inzwischen, damit sich ihre Zwirnung nicht ändert, fortwährend wie das Seil um ihre Achsen gedreht werden. Dies geschieht vermittelst des zweimal um sie herumgeführten endlosen Seiles *c*, welches von zwei Männern stetig gezogen wird. Bei *d* passirt das Seil einen Ring, durch welchen dem aufsteigenden Seiltrum ein gewisser Widerstand geleistet wird, was zur Folge hat, dass das Seil stets genügend angespannt bleibt.

Das Handspinnrad ist bei den Indern, Chinesen, Japanern und den Völkern des malayischen Archipels so verbreitet, dass ihm ein hohes Alter zugeschrieben werden muss; auch den Römern war dasselbe nicht fremd. Bei uns hingegen ist das Spinnen, wie es scheint, nicht vor dem Mittelalter auf das Spinnrad, im 16. Jahrhundert erst auf das zum Treten eingerichtete, übertragen worden, wobei eine veränderte Methode angewandt, immer aber der Menschenhand noch ein grosser Theil der Arbeit belassen wurde.

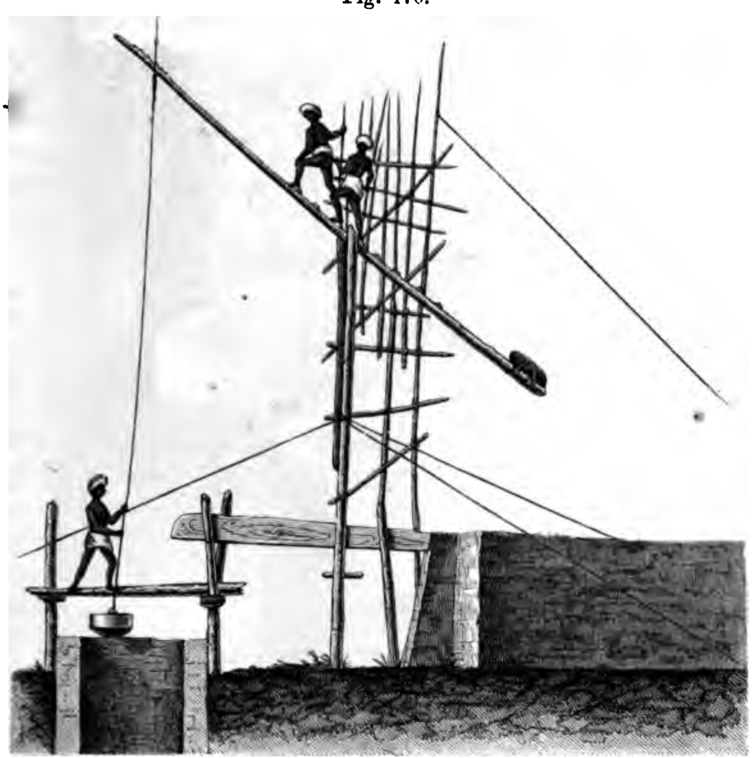
Die Verarbeitung des Gespinstes zum Gewebe geschah bereits bei den Pfahlbauern erwiesenermaassen auf einem Webstuhl. Derselbe ist indessen nicht eine Maschine in unserem Sinne. Er ist vielmehr gemäss der vorzüglichen Rekonstruktion des Herrn Fabrikanten Paur in Zürich ein Geräth ähnlich dem Spitzenklöppelzeug, bei welchem die eigentlich machinale Bewegung erst im Keime liegt.

Eine sehr alte, obwohl schwerlich in die Vorgeschichte des Menschengeschlechtes zurückgreifende Maschine ist die in Fig. 170 dargestellte Picota oder Kuppilai der Inder. Hier ist die „Hebelbewegung“ benutzt. An einem Wippbaum oder Schwengel, auf gabelförmige Stützen gelagert, und dort mit Stricken noch angebunden, hängt an einem Ende eine Stange, welche einen Wasserkübel trägt, am anderen Ende eine Art Gegengewicht. Die obenstehenden Männer

setzen durch Vor- und Rückwärtsschreiten auf der Wippe diese in auf- und niederschwingende Bewegung, wobei der Kübel von dem dritten Manne in das Wasser des Brunnens gelenkt und danach

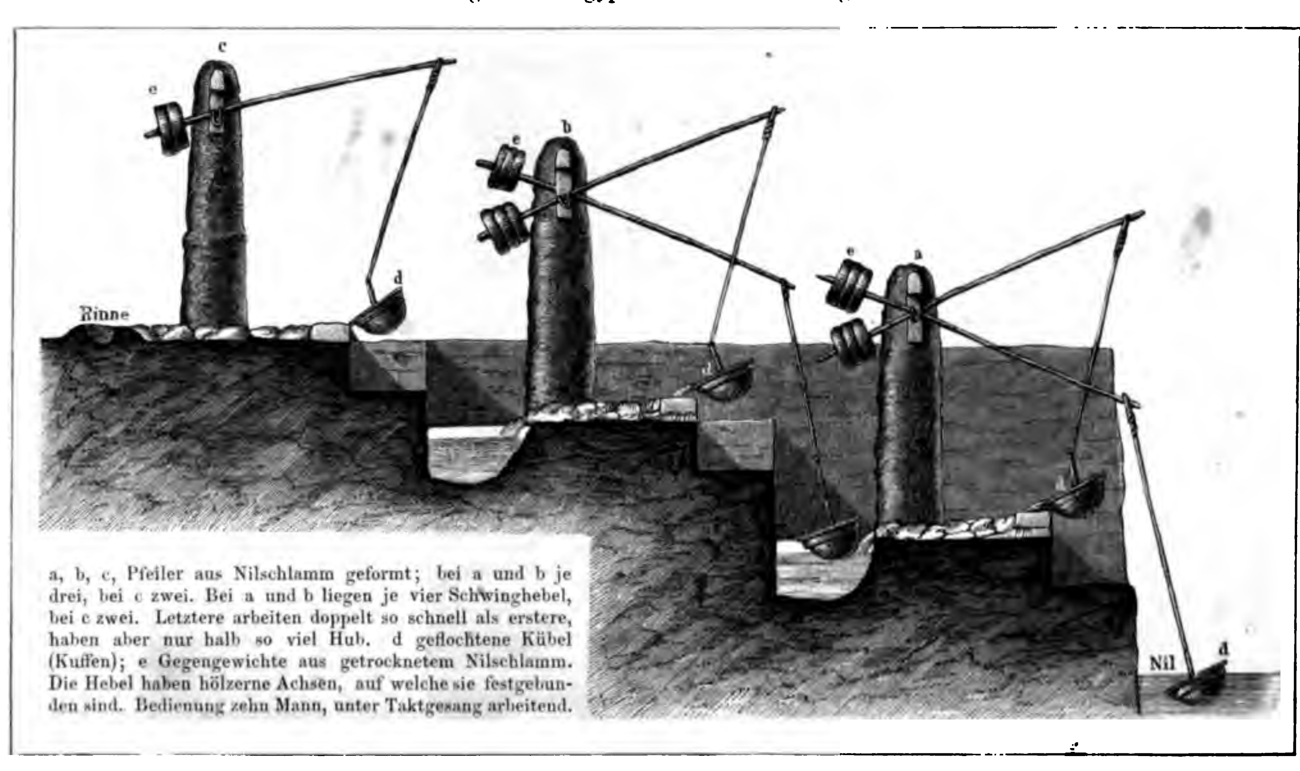


Fig. 170.



oben in eine Rinne entleert wird, welche das Wasser auf die Felder leitet. Die Picota ist bis heute ausser in Indien auch in Nordafrika, in Spanien, auch in Belgien bei den Ziegelstreichern, ja auch hier und da in Deutschland in Gebrauch. Ihr sehr ähnlich ist die Vorrichtung, mittelst welcher die Chinesen mit dem sogenannten Seilbohrer ihre erstaunlichen artesischen Brunnen stossen. Die Aegypter benutzen seit dem hohen Alterthum eine der europäischen Picota ähnliche Vorrichtung, Schaduff[36]) genannt, welche aber nur einmännisch ist, und deren Schwengel wesentlich durch das Gegengewicht wirkt. Der am Kübel stehende Mann bedient die Maschine. Eine grössere Schaduff-Anlage mit drei Absätzen stellt die umstehende Figur dar.

Fig. 171. Aegyptische Schaduff-Anlage.



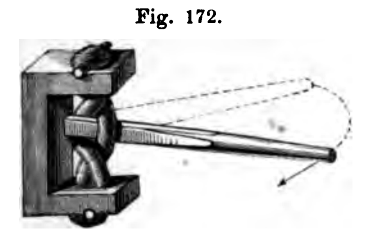
a, b, c, Pfeiler aus Nilschlamm geformt; bei a und b je drei, bei c zwei. Bei a und b liegen je vier Schwinghebel, bei c zwei. Letztere arbeiten doppelt so schnell als erstere, haben aber nur halb so viel Hub. d geflochtene Kübel (Kuffen); e Gegengewichte aus getrocknetem Nilschlamm. Die Hebel haben hölzerne Achsen, auf welche sie festgebunden sind. Bedienung zehn Mann, unter Taktgesang arbeitend.

Die geradlinige Bewegung sehen wir in einer jedenfalls sehr alten Form in Pfeil und Bogen angewandt, zugleich unter Zuhilfenahme eines elastischen Kraftsammlers, des Bogenjoches. Sicherlich haben wir in der klugen Benutzung der Elastizität des Bogens, welchem die ursprünglichere Schleuder lange vorausgegangen sein mag, das Ergebniss einer schon vorgeschrittenen Entwicklung zu erblicken. Jünger als der Bogen, obschon gewiss sehr alt, ist wohl das Blasrohr, das bei den Wilden Südamerikas in der Form der bis 12 Fuss langen „Sabarkane“ im Gebrauch ist. Es werden mit derselben Thonkugeln und befaserte Pfeile mit grosser Sicherheit geschossen; der Betriebsart des Geschosses nach ist das Blasrohr eine Vorstufe zum Pulvergewehr.

Beide Anwendungen der geradlinigen Bewegung laufen auf das Werfen von Geschossen hinaus, welche alsbald die Maschine verlassen, um ihre Bewegung ausserhalb derselben, den kosmischen Kraftwirkungen überlassen, fortzusetzen, so dass der machinal geleitete Theil der Bewegung bei weitem der kleinere ist. Ueberhaupt sind die Veranlassungen zur geradlinigen Bewegung, welche unseren geometrischen Begriffen so naheliegend scheint, in der sich erst bildenden Kultur selten. Je näher vielmehr die Natur, um so weniger wird die Geradlinigkeit gefordert, so dass wir auch hier wiederum lernen müssen, unser Urtheil über das Nahe- und Fernliegende aus unseren heutigen Vorstellungen herauszulösen.

In dem Kriegsgeräthe der Griechen und Römer, bei welchem bemerkenswerth ist, dass es aus dem Orient herübergekommen war, zeigt sich die machinale Seite schon ganz bedeutend entwickelt, namentlich die Ansammlung der Kraft zum Schleudern der Geschosse bereits auf eine sehr hohe Stufe gebracht. Bei den Ballisten und Katapulten ist im allgemeinen die Armbrustform, in welche die des Flitzbogens übergegangen war, Grundlage; statt der elastischen Bogenhörner sind aber steife Arme angewandt, welche durch die im §. 42 besprochene Wrillfeder aus Thiersehnen oder Haaren, Fig. 172, geschnellt werden *). Die Neben-

Fig. 172.



*) Siehe W. Rüstows und H. Köchly, Geschichte des griech. Kriegswesens.

theile an Geradführungen, Windwerken, Spannvorkehrungen u. s. w. sind mit vielem Geschick und grosser Kunstfertigkeit angeordnet.

Wann das Elementenpaar „Schraube und Mutter" aufgekommen ist, bleibt noch aufzuhellen; den Griechen und Römern war es jedenfalls völlig bekannt, z. B. für den Wagenbau, wenn auch nicht besonders geläufig. In unseren Antiquarien gehört die Schraube — wohlverstanden diejenige mit Schraubenmutter — zu den grössten Seltenheiten. Sehr auffallend und der näheren Untersuchung werth ist der Umstand, dass so durchstehend die Rechtsschraube vor der Linksschraube den Vorzug erhalten hat. Ich enthalte mich des Versuches der Erklärung, für die nur wenig Anhalt vorliegt. Dass es zwar immer so gewesen sei, wie heute, wo z. B. der Laie kaum eine Vorstellung von der Existenz der Linksschraube hat, ist mir unwahrscheinlich. Alte Abbildungen zeigen auch Linksschrauben. So ausser manchen mittelalterlichen auch diejenige der Walkerpresse aus der pompejanischen Fullonica, an welcher eine Rechts- und eine Linksschraube thatsächlich dargestellt ist.

Der Weg, auf welchem man zu dem merkwürdigen Elementenpaare gelangte, ist einstweilen jedenfalls schwer zu bestimmen. Für unzutreffend halte ich die Meinung, dass eine unmittelbare Nachahmung der Natur, beispielsweise der Form des Schneckenhauses, den Anlass gegeben habe. Für dieselbe scheint zwar mancherlei zu sprechen. Zunächst der Umstand; dass die Schneckenhäuser mit wenigen Ausnahmen rechts gewunden sind. Sodann, dass im Griechischen die Wörter für Schraube und für Schnecke (kochlías, kochlíon, kóchlos) nahezu oder ganz übereinstimmen. Allein beides ist keineswegs entscheidend. Denn die irgendwie erfundene Schraube kann wegen ihrer Form sehr wohl nachträglich nach der Schnecke benannt worden sein; auch ist das griechische Wort für Löffel (kochliárion) ebenfalls aus dem Namen der Schnecke gebildet, wobei offenbar die hohle Form an sich, nicht aber die schraubenförmige Gestalt die Veranlassung bot. Die Erklärung aus der unmittelbaren Formnachahmung würde einen Sprung in dem machinalen Entwicklungsgange annehmen heissen, welcher dem sedimentartigen Absetzen der Ideen, das wir an anderen Stellen allein beobachten, durchaus widerspäche. Ausserdem bot das Schneckenhaus nur das Vorbild einer konischen, nicht einer cylindrischen Schraube, hätte also erst in letztere Form übersetzt werden müssen. Vor allem aber liefert dasselbe nicht ein Beispiel der gepaarten Elemente mit deren eigenthümlicher Relativbewe-

gung und der so hervortretenden Fähigkeit zur Ausübung von Druck.

Die Mutterschraube muss aus Vorbildern hervorgegangen sein, bei welchen unbeabsichtigter Weise die Schraubenbewegung erzeugt worden war. Ich wage die Vermuthung — allerdings auch nicht mehr — dass der Bohrquirl nach Fig. 161 mittelbar den Weg zum Schraubenpaar gewiesen habe. Der um das Rollholz gelegte Strick mag bei längerem Gebrauch schraubenförmige Rillen in den Stab eingepresst und eingerieben haben, welche beim etwaigen Herausdrehen des Holzes aus der Umwicklung als Schraubengänge wirkten, während die umhüllende Schnur als Mutter diente. Die Häufigkeit dieser Beobachtung mag allmählich dazu angeleitet haben, nützliche Anwendungen von dem absichtslos erzeugten machinalen Gebilde zu machen. Die Formen des Wortes Schraube in den germanischen Sprachen unterstützen meine Vermuthung sehr. Mit nichten will ich für dieselbe anführen, dass in den romanischen Sprachen und im Englischen der Schraubengang noch heute Faden oder Schnur (filo, filet, thread) heisst, denn diese Benennungen konnten immer nachträglich entstehen. Schwierig wird es sein, darüber klar zu werden, ob die Absicht der Fortbewegung, ob die der Befestigung, ob die der Ausübung von Druck die ersten Antriebe zur Benutzung gegeben habe; schwierig bleibt auch zu erklären, auf welche Weise zuerst die Schraubenmutter, die Hohlschraube, hergestellt worden sein mag. Dem Linguisten wie dem Urzeitforscher sei die Frage nach der Urschraube und Urschraubenmutter ans Herz gelegt.

Neben der zunehmenden Mannigfaltigkeit der Bewegungen entwickelte sich langsam diejenige der Kraftwirkungen und -Ursachen in der Maschine. Die oben angeführte Anschauung, dass der Feuerquirl, bei welchem der Kraftaufwand unbedeutend ist, die erste Maschine gewesen wäre, widerspricht der sehr populären Annahme, als ob dem „Hebel“ diese Auszeichnung zuzuerkennen sei. Abgesehen davon, dass die Vorstellungen von dem, was man den Hebel nennt, noch sehr der Klärung und Vertiefung bedürfen, verkennt man nach meiner Ansicht hierbei den Weg, den die menschlichen Fähigkeiten in ihrer Ausbildung überhaupt nehmen und von jeher genommen haben müssen. Bei der Annahme des Hebels als Urmaschine denkt man an den Versuch des Menschen, grosse Kräfte zu überwinden. Nicht aber diese sind es, welche dem erwachenden Bewusstsein zuerst entgegengetreten, sondern

vielmehr das, was sie verursachen, die Bewegung. Das Kind wird lebhaft angeregt durch die Windmühlenflügel, durch die Mühlräder, durch Pochwerkstempel und andere, ihre regelmässigen Bewegungen so deutlich bekundende Maschinenwerke; an die dabei aufgewandte, mittelbar zur Wirkung gebrachte Kraft denkt es vorerst gar nicht. Die begriffliche Loslösung der Kraft von der Bewegung ist schon eine sehr schwierige Verstandes-Operation, und fand deshalb verhältnissmässig spät und allmählich statt. Deshalb sind die ersten Maschinen, die aus der ungeübten Hand des Menschen hervorgiengen, solche, bei denen die Kraft eine untergeordnete Rolle spielte, indem sie die gleichsam unbewusst ausgeübten Anstrengungen der Glieder nicht überstieg.

Aus demselben Grunde verfällt das ungeschulte Begriffsvermögen noch heute immer wieder auf das Problem des Perpetuum mobile; immer lockt und reizt den Naiven unwiderstehlich die Bewegung, der Augenschein, das durch den Gesichtssinn vermittelte erste Verständniss, dessen bestrickender Gewalt nicht irgendwie unterworfen zu sein, sich übrigens auch der ausgebildetste Verstand nicht rühmen kann. Aus den Versuchen, Bewegung hervorzubringen, entwickelte sich langsam und schrittweise die Erzeugung der mittelbar erreichbaren Kraftwirkungen. Die populäre Annahme, welche die umgekehrte Folge voraussetzen will, begeht den Fehler, uns à la Robinson mit der Kenntniss vom modernen Zustande in die Rolle des Urerfinders zu versetzen, während in diesem erst das Bedürfniss nach Besserem und der Begriff von der Möglichkeit desselben entstehen musste, ehe es ihn zum Suchen trieb.

Gewiss hat der Mensch lange lange Zeit gebraucht, ehe er dazu übergieng, die motorische Seite der Maschine dahin zu entwickeln, dass er an die Stelle seiner Muskelkräfte im Betrieb der Urmaschinen andere Naturkräfte zu setzen vermochte. Zuerst mag er wohl zu denjenigen neben ihm lebender Geschöpfe, zu den Thierkräften gegriffen haben, dies aber nicht eher, als bis die lange Periode der allmählichen Heranziehung des Hausthieres durchlaufen war. Inzwischen bemühte er sich mit Erfolg, durch Verbesserung seiner machinalen Vorrichtungen, die mehreren Personen übertragene Arbeit für eine einzige ausführbar zu machen, dadurch also die Leistungsfähigkeit der einzelnen zu steigern [37]. Die in der leblosen Natur thätigen, ihm unverständlichen Gewalten flössten ihm anfänglich nur Furcht ein; sehr allmählich erst

legte er die Scheu ab, um dann zu dem Versuch überzugehen, ihnen Nutzen abzugewinnen. Lange schon betrieb er, wie E. Curtius scharfsinnig liguistisch nachgewiesen, die Ruderschiffahrt, ehe er die so nahe sich darbietende Kraft des Windes zum Segeln benutzte.

Als am nächsten an die belebte Natur anschliessend erschien ihm wohl der dahin strömende Wasserlauf, zuerst nur ihn anziehend durch seine rastlose Bewegung, deren scheinbare Ewigkeit und Unendlichkeit ihn zu den, einem heute verknöcherten Kultus geweihten Rädern Thibets führte. Nach und nach erst wagte sich in ihm der Gedanke hervor, aus der mühelos gewonnenen Bewegung die Kräftewirkung zunächst im Schöpfrade zu ziehen.

Inzwischen hatte ihn die Erfahrung zu dem inhalt- und folgenreichen Prinzip geführt, welches wir oben beim Bogen schon berührten: demjenigen nämlich, die ausgeübte Muskelkraft aufzusammeln, um sie im gegebenen Augenblick in ihrer Gesammtheit zu verwenden.

Der Bogen des Pfeilschützen ist das machinale Organ der Kraftaufsammlung; in seinen Hörnern wird die sensible Kraft der Muskeln latent gemacht; die latente Kraft der Bogenhörner, später des Armbrustbogens, ist es, welche den Pfeil schleudert. Im Ballisten und Katapulten ist dieses Prinzip schon beträchtlich gesteigert, indem in ihnen schon die Kraft mehrerer Männer durch kinematische Mittel geborgen wird, um darauf konzentrirt mit bedeutendem Erfolge abgegeben zu werden. Später dehnt sich dieses Prinzip des Aufsammelns ohne Unterscheidung auch auf elementare Kräfte aus und ist bis heute in voller Anwendung geblieben, vom kleinen Werke der Taschenuhr und des Gewehrschlosses an durch zahlreiche Spannmechanismen hindurch bis zu den Drucksammlern der Armstrong'schen Wasserkrane und zu den Windkesseln des Mont-Cénis-Bohrapparates.

Spät erst wird die motorische Kraft des Wasserdampfes entdeckt, vorher schon diejenige schnell entzündlicher oder explosibler Stoffe, in beiden eigentlich nur die latente Kraft, welche die Natur in den zersetzbaren Stoffen auf dem Erdball in ungeheuerer Menge angehäuft hat. Damit war dem Menschen eine Kraftquelle bekannt geworden, deren Grösse er anfangs nicht ahnte, die ihm aber in der Maschine zu einer Macht über die Natur verhalf, welche den grössten je geschehenen Umschwung im Leben des Menschengeschlechtes ins Werk gesetzt hat.

§. 49.

Kinematisches Prinzip in der Vervollkommnung der Maschine.

Was denn aber ist, muss man fragen, das eigentliche kinematische Merkmal der Vervollkommnung der sich ausbildenden Maschine in den angeführten wie anderen Beispielen? Was ist das Nahe- und was das Fernerliegende gewesen für den Erfindungsgeist, wenn man so von Anfang an das sich klärende und schärfende Bewusstsein für das Mechanische in der Maschine nennen soll? Ich glaube, man hat diese Frage dahin zu beantworten, dass der Fortschritt in der Art der Anwendung des Kraftschlusses zu suchen ist, und zwar insbesondere: in der abnehmenden Verwendung des Kraftschlusses bei zunehmender Ersetzung desselben durch den Paarschluss und den Schluss der sich dabei bildenden kinematischen Kette.

Was der zum Bewusstsein erwachte Mensch bei Schaffung der Maschine dunkel wollte, ist die Erzwingung bestimmter Bewegungen an leblosen Körpern für seine Zwecke. Die Kräfte zur Verursachung dieser Bewegungen sucht er zuerst nur in sich und seines Gleichen. Fern noch liegt ihm die Unterjochung der Naturkräfte ausser ihm. Er ist befriedigt, glücklich, sein Vorhaben unter eigener Anstrengung auch nur nothdürftig gelingen zu sehen. Dabei ist ihm der Kraftschluss das nächstliegende Hilfsmittel, um die versuchte Aneinanderreihung von Körpern zu der erwünschten Zusammenwirkung zu bringen.

Das Reibholz des Feuerquirls, dieses Uranfanges des von uns Drehkörperpaar genannten Elementenpaares, sehen wir kraftschlüssig sowohl in der Längenrichtung angepresst, als in allen Querrichtungen gehalten, kraftschlüssig auch mittelst der beiden Handflächen in Bewegung gesetzt, kraftschlüssig nicht minder das liegende Holzstück festgehalten. Später wird die Schnur und mit ihr das obere Lager zu Hilfe genommen, was schon einen grossen machinalen Fortschritt bedeutet, indem durch Zufügung zweier neuen kinematischen Elemente die Benutzung der Muskelkraft des Treibenden auf ein blosses Hin- und Herziehen der Schnurzipfel zurückgeführt ist, während früher die Hände zugleich angepresst

und hin- und herbewegt werden mussten. Die Schnur selbst aber, das hinzugekommene Neue, ist selbst wieder ein kraftschlüssiges Element, und kraftschlüssig wird es mit dem umspannten Holze in kinematischer Verbindung erhalten.

Verfolgen wir das Quirlbewegungsgetriebe weiter vom Bohrzeug des Pfahlbauers und der Schiffszimmerleute Homers, wo es sich so zu sagen ungeändert erhalten hat, zu der antiken Drehbank, so sehen wir dasselbe bedeutend vorangeschritten. Zunächst ist der doppelte Kraftschluss an den Lagerungen des umzutreibenden Stückes beseitigt, indem durch Zufügung der zweiten Drehbankspitze die Lagerung paarschlüssig gemacht ist. Sodann ist die Bewegung der Treibschnur günstig abgeändert. Nicht nur ist der obere Schnurzipfel durch den Federbalken, der untere durch den Tretschemel in leidlich bestimmter Bahn geführt, zu welchem Ende die kinematische Kette um zwei Glieder bereichert wurde, sondern auch die Rückwärtsbewegung beider der in der Feder aufgesammelten Kraft übertragen. Demzufolge hat der Arbeitende nur noch die Vorwärtsbewegung zu erzeugen. Indem letztere geschickter Weise dem Fusse übertragen ist, bleibt den Händen die Freiheit, noch das Schneidewerkzeug, den Drehmeissel, zu führen. Kraftschlüssig ist aber wieder das neu hinzugekommene Element, die Feder, kraftschlüssig die einmal nachlassende einmal treibende Wirkung des Fusses auf den Tretschemel. Als eine der uns nur mangelhaft bekannten Zwischenstufen des Fortschrittes von dem homerischen Bohrer zu der italiänischen Drehbank ist wohl die oben erwähnte kalmückische Drehbank anzusehen, wennschon die Ausscheidung fremder und neueren Epochen angehöriger Einflüsse hier schwierig sein mag. Bemerkenswerth ist aber, dass die kinematischen Mittel es ermöglicht haben, die Maschine durch einen statt durch zwei und drei Menschen betreibbar zu machen.

Etwas Aehnliches gilt von der Handspindel. Obgleich noch in fast allen Richtungen kraftschlüssig, ist sie doch als eine machinale, aus den Elementen Spindel und Faden (Zugkraftorgan) bestehende Vorrichtung anzusehen; sie hat aber das mühsame frühere Zusammendrehen der Fasern, welches nach des Seilers Art von mindestens zwei Personen vollzogen werden musste, durch eine von nur einer Person ausgeübte Operation zu ersetzen ermöglicht, oder wenigstens die unvollkommene Fadenzwirnerei der Indianer durch ein schnelleres und besseres Verfahren ersetzt.

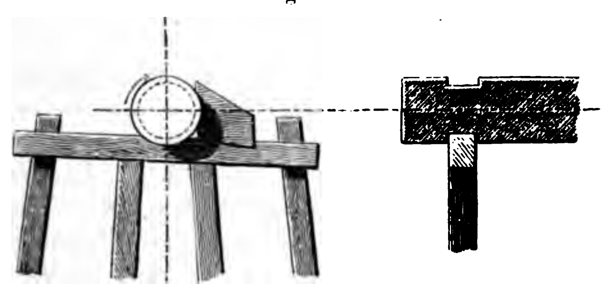
Bei der indischen Picota können wir, obgleich diese Maschine weit jüngeren Ursprungs als das Reibholzfeuerzeug und wohl auch die Handspindel ist, verwandte Vorgänge beobachten. Schon sind die überwindenden Kräfte grösser — es gibt Picoten mit sechs bis acht Tretern und entsprechend schwerem Kübel — allein Kraftschluss herrscht überall: an der Lagerstelle des Balkens, wo das Zapfenlager in senkrechter Richtung durch die Schwere geschlossen ist, die Seitenbewegungen theils durch Stricke, namentlich aber durch die passend gewählte Druckrichtung der Füsse verhindert werden; Kraftschluss an der Anknüpfungsstelle der Tragstange, wie an dem Bügel des Wassereimers; Kraftschluss überdies in dem zu fördernden Körper, dem Wasser selbst. Auch herrscht doppelter Kraftschluss in der Betriebsweise der Wippe, indem von den beiden Männern immer der eine den vor ihm schwebenden Schenkel des Baumes abwärts treibt, während sein Gefährte, mit dem Fusse nachgebend und sich dabei an dem Bambusgitter festhaltend, den aufwärts steigenden Schenkel nur richtig leitet. Bei dem ägyptischen Schaduff ist das Gelenk des Wippbaumes meist durch eine hölzerne Achse gebildet, also schon paarschlüssig gemacht, und durch ein Gegengewicht die Beförderung leichterer Eimer durch nur einen Mann, der an dem Hängeseil anfasst, ermöglicht.

Beim Flitzbogen, an welchem die geradlinige Fortbewegung machinal eingeleitet wird, während bei der Schleuder noch in allen Punkten Kraftschluss herrschte, ist der mit dem gekrümmten Finger geleitete Pfeil noch wesentlich kraftschlüssig geführt; Bogen und Sehne selbst sind kraftschlüssige Elemente. An der Balliste und der Armbrust ist hinwiederum ein grosser Theil des Kraftschlusses beseitigt, indem der Pfeil in einer geraden Rinne geführt wird; auch tritt hier eine Windevorrichtung, also eine vermittelnde kinematische Kette, an die Stelle des die Sehne spannenden Kraftschlusses durch Menschenhand. Beim Blasrohr ist das Prismenpaar zur Führung des Pfeiles schon bedeutend vervollkommnet; beim Pulvergewehr ist es glatt ausgebohrt; bei der modernen Büchse sind Geschoss und Rohr als genau hergestelltes „Schraubenpaar“ ausgeführt, also der Kraftschluss für das Geschoss endlich ganz beseitigt.

Das chinesische Schöpfrad, welches wir oben besprachen, trägt den Stempel der Urthümlichkeit in der überwiegenden Verwendung des Kraftschlusses an sich. Kraftschlüssig ist das treibende Element selbst, sowohl in dem Strombette, in welches das

Rad eintaucht, als an den geflochtenen Schaufeln, die es vor sich hertreibt; kraftschlüssig in den Bambuskübeln, die es nach oben befördern, wie in der Rinne, die ihm den Weg aufs Feld vorschreibt; kraftschlüssig liegt die Achse des Rades in den gabelförmigen Stützen. Wie sehr die blosse Gegenwirkung gegen die störenden Bewegungen, der blosse Kampf mit denselben der Grund zur Erfindung des kinematischen Schlusses gewesen, sehen wir u. a. an den sehr alterthümlichen Noria [38]) genannten Schöpfrädern Spaniens *). Die Achsen dieser Räder liegen auf den etwas geneigten Deckbalken des Radstuhles ohne jede Einkerbung auf, Fig. 173.

Fig. 173.



Bei der Vorwärtsdrehung des Zapfens sucht derselbe weiter zu rollen, wird aber hieran durch eine kleine eingezapfte Stütze verhindert. Wir wissen, dass diese und ähnliche Lagerungen nach und nach in sorgfältig gearbeitete Drehkörperpaare übergegangen sind, dass das Wasser durch Einfassung in ein Gerinne, dann in einen das Rad umfassenden Kropf u. s. w. mehr und mehr paarschlüssig gemacht worden ist. Doch ist nicht zu verkennen, dass beim Wasserrade im allgemeinen die Spuren des ehemaligen Ueberwiegens des Kraftschlusses noch sehr deutlich sind.

An mittelalterlichen Pumpwerken, Mühlen und anderen Maschinen finden wir sehr vielfach Kurbelgetriebe angewandt, also Mechanismen, an welchen Gelenke, Drehkörperpaare, häufig sind. Betrachtet man diese näher — und hierzu geben die erhaltenen Zeichnungen Gelegenheit — so findet man an ihnen den Kraftschluss in voller Entfaltung. Die Gelenke der Kurbeln und Pleuelstangen sind runde Stäbe, welche von weiten runden Augen, ähnlich den Gliedern einer gewöhnlichen geschmiedeten Kette, umfasst

*) Siehe Moncrieff, Irrigation in Southern Europe. London 1868.

werden. Grobe, weit auseinander stehende Knäufe verhindern allzuweit gehende Seitenverschiebungen. Die Spielräume erlauben zugleich, wo es die Anordnung erfordert, Drehungen um Achsen, welche quer zu den Stabachsen gerichtet sind; es sind dies solche Stellen, wo wir ein Kreuz- oder Universalgelenk anbringen würden, beziehungsweise heute angebracht haben, wo also die ältere Form ärmer an Theilen ist, als die neuere.

In übermächtiger Fülle sieht man den Kraftschluss an einzelnen Ueberständern aus den letzten Jahrhunderten, den alten Baumkeltern, die sich im Rhein- und Moselthal, auch in der Schweiz, wo die Kelter Trotte heisst, hie und da noch erhalten haben. Zum Zusammenpressen dient ein sich überall kraftschlüssig anlegender Hebel, aus einem Eichbaum hergestellt — der viel besungene Kelterbaum — der bei der ältesten Form am freien Ende mit Mühlsteinen belastet ist. Eine Schraube (aus Holz) ist dann auch vorhanden, dient aber nicht zur Ausübung von Druck, sondern zum Heben und Sinkenlassen des belasteten Hebelendes [39]). Bei der rheinischen Baumkelter, die jedenfalls als die jüngere anzusehen ist, dient die Schraube indessen zum Abwärtsziehen des Baumes; die ganze Maschine ist hier eine Einrichtung etwa wie ein Schraubstock, bei welchem aber die Druckstelle statt jenseits Schraube und Gelenk zwischen denselben, ganz nahe dem letzteren angebracht ist.

Sehr merkwürdig sind auch die sehr urthümlichen Eisenhämmer, auf welche der Fusswanderer in den betriebsamen kleinen Thälern des bergischen Landes und der Eifel stösst. Ein roh gezimmertes kleines Wasserrad treibt einen Schwanzhammer, ein anderes die Blasebalgvorrichtung, im bergischen Lande Kuckuck genannt. Wie der Hammer, so werden auch die Bälge durch Hebedaumen, also kraftschlüssig, betrieben, ihre obere Platte nämlich durch die Daumen abwärts gedrückt, worauf eine an der Decke befestigte Holzfeder sie wieder in die Höhe schnellt. Es ist fast kein einziges Elementenpaar in diesen, wohl die Erbschaft von Jahrhunderten bewahrt haltenden Einrichtungen, das nicht kraftschlüssig wäre. Langsamer Uebergang hat aus dem „Kuckuck“ das fein eingerichtete Cylindergebläse unserer Tage gestaltet.

Wir sehen in allen diesen Beispielen aus dem alten Maschinenwesen den Kraftschluss allmählich weichen, um dem Paar- und Kettenschlusse Platz zu machen. Dieser Prozess hat vom allseitigen Kraftschluss zum kraftschlüssigen Elementenpaare, von diesem

zum mehr und mehr geschlossenen und endlich ganz zwangläufigen Paare, und unbemerkt zur kinematischen Kette geführt. Inzwischen half eines dem andern, indem mit der Vervollkommnung irgend einer Hilfsmaschine für der Hände Werk ein auf derselben hergestellter Theil einer neuen Maschine an Vollkommenheit zunahm. Dabei bestimmt, wie wir gesehen haben, nicht die Einfachheit im Sinne des Bestehens aus wenig Theilen die Güte der Maschine, sondern die sich steigernde Bestimmtheit der erzielten Bewegungen bei Verminderung der Anforderungen an die Intelligenz der Kraftquelle, und dies selbst auf Kosten einer beträchtlichen Vermehrung der Theile, oder, wie wir uns auszudrücken haben, der Gliederzahl der kinematischen Verkettung.

Aus dem Ganzen geht für uns, wenn wir das kinematische Prinzip auf die höhere Einheit der menschlichen Entwicklung zurückführen, die Erkenntniss hervor, dass die ersten machinalen Vorrichtungen auf eine Weise hergestellt wurden, welche wir als den Nothbehelf bezeichnen können. Gewisse Bewegungserzwingungen wurden Bedürfniss. Man half diesem so gut es gehen wollte ab und gerieth dabei durch eine innere Nöthigung — weil nämlich, wie unsere Untersuchungen ergaben, andere gleich einfache Lösungen nicht möglich sind — auf die Elementenpaare in deren ersten unvollkommenen Anfängen. Gewöhnung und Uebung bewirkten dann allmählich, dass die Erfindung auf andere als die ersten Zwecke übertragen wurde, und veranlassten dadurch, dass die Anforderungen an die Güte und Brauchbarkeit der Vorrichtungen sich steigerten. Diesen Anforderungen gerecht werdend, also gleichsam einer äusseren Nöthigung folgend, krystallisirte sich langsam der machinale Gedanke heraus, und gewann allmählich so deutliche Formen, dass man begann, absichtsvoll mit ihm an die Lösung neuer Aufgaben heranzutreten. Bei diesen Versuchen ergab sich stets wieder die Verbesserung des Apparates als Wirkung, um darauf wieder Ursache zu neuer Verwendung und Weiterbildung zu werden.

Wir erkennen hier den wunderbaren Trieb nach Ausdehnung der menschlichen Machtsphäre, der den verschiedenen Menschen-Rassen ungleich zugemessen scheint und sie deshalb ungleichartig zur Entwicklung hat kommen lassen. Die einen besitzen diesen Trieb in geringem Maasse; sie haben durch Jahrtausende nur kleine Schritte auf dem Entwicklungswege zurückgelegt; sie sind der Allmutter treuer geblieben und unterwerfen sich ihr williger,

als die anderen; diese dagegen, wie getrieben von immer neu entstehenden inneren Kräften, haben der Natur ein Gebiet nach dem anderen streitig gemacht, haben dabei ihre Fähigkeiten entwickelt und dieselben zu den höchsten Leistungen erstarken sehen.

§. 50.

Entwicklungsweise des modernen Maschinenwesens.

Das moderne Maschinenwesen datirt von der Erfindung der Dampfmaschine her, und hat mit ihr, und veranlasst durch sie, sich mit einer Schnelligkeit entwickelt, welche in früheren Perioden nicht entfernt ihres Gleichen hat. Dennoch ist nach meiner Ansicht nicht von einem eigentlichen Sprunge, einer Unstetigkeit in der Fortbildung der Ideen die Rede; es tritt nur eine grössere Beschleunigung in der Aufeinanderfolge ein. Die Kurve nimmt einen schneller aufsteigenden Verlauf, ohne indessen ihr inneres Gesetz zu ändern. Wir dürfen zwar nicht vergessen, dass es in Fragen jeglicher Art ungemein schwer ist, sich ein Urtheil über dasjenige zu bilden, was gerade in unserer Gegenwart geschieht, weil wir selbst aus den Trieben der Gegenwart handeln und darum auch empfinden und urtheilen. Indessen unterstützt uns hier die grosse Zahl der Fälle und die Genauigkeit unserer Kenntniss von denselben. Eine aufmerksame Betrachtung der heutigen Art, die Maschinen zu vervollkommnen, lehrt aber, wie wir sogleich sehen werden, dass der ganze Prozess der Ablösung des Kraftschlusses durch Paar- und Kettenschluss bis zur Stunde seinen Gang ruhig weiter geht. Wir dürfen ihn deshalb als den tiefern und allgemeinen Inhalt der gesammten bisherigen Entwicklung der Maschine ansehen; ja wir werden ihn auch ferner noch als eine wesentliche Form der weiteren Entwicklung derselben zu betrachten haben.

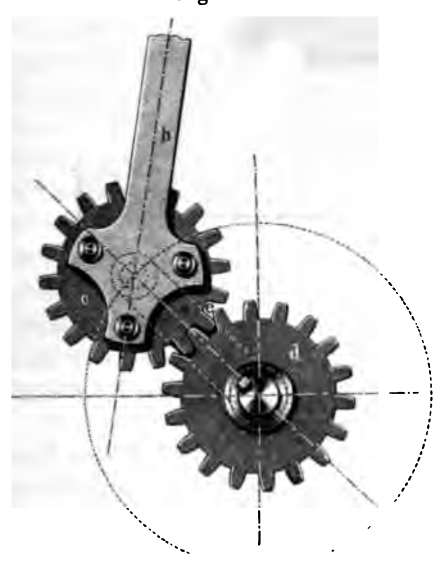
Die Newcomen'sche Dampfmaschine, Fig. 174, ist noch überwiegend kraftschlüssig und erhielt sich so durch das ganze achtzehnte Jahrhundert; kraftschlüssig im Pumpwerk, in den Balancierketten, im Dampfkolben, auch in der Steuerung, obwohl hier die Potter'sche Erfindung das intellektuelle Eingreifen durch machinales ersetzt hatte. Watt führt erst nach und nach den einen Paarschluss und Kettenschluss nach dem andern ein. Dabei

weichen u. a. die kraftschlüssigen Balancier-Ketten dem ungleich **verwickelteren**, aber kinematisch auch weit vollkommeneren Mecha-

Fig. 174.



Fig. 175.

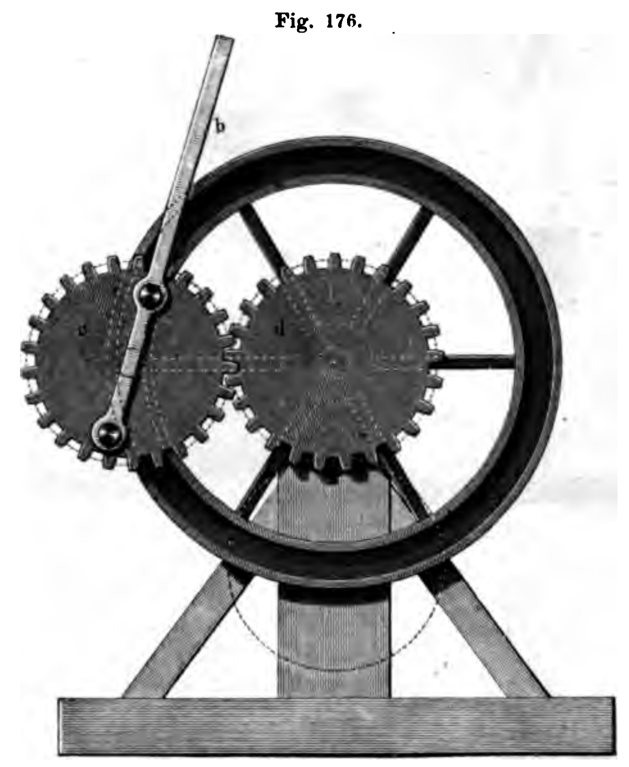


nismus des Wattischen „Parallelogramms". Bis zum heutigen Tage ist die ehrwürdige Wasserhebungsmaschine unserer Bergwerke in den Fesseln des Kraftschlusses noch theilweise stecken geblieben; in der jüngsten Zeit erst scheint ein ernstlicher Kampf gegen dieselbe durch die neuen direkt wirkenden Dampfpumpen eröffnet worden zu sein.

Ein interessantes Beispiel des Ueberganges liefert uns das vielgenannte Wattische Plane-

tenrad. Die Form, in welcher Watt den Mechanismus ans Licht brachte, war zuerst nicht die bekannte in Fig. 175, sondern die ganz andere in Fig. 176 *). Um das Rad *c* unter steter Erhaltung des Eingriffes um *d* herumzuführen, wandte er ganz dieselbe kinematische Paarung an, welche wir in §. 43 besprachen. Offenbar leitete ihn dabei der Gedanke, dass eine Konstruktion um so „einfacher"

Fig. 176.



sei, je weniger Theile sie habe. Später erst gieng er zu der Einrichtung in Fig. 175 über. Bei dieser erhielt die Kette freilich in dem Verbindungssteg *e* ein Glied mehr, allein die Bestimmtheit der Bewegung hatte gewonnen, und der wegen der rasch eintretenden Abnutzung erforderliche Kraftschluss, den die Schwungradmasse zu bewirken hatte, kam in Wegfall.

Am Fuhrwerk erleben wir bis in die jüngste Zeit den Uebergangsprozess von Kraft- zu Paarschluss. Nach sehr guter Herstel-

*) Siehe Muirhead, Inventions of J. Watt, III. S. 50.

lung des Wagens, Begabung desselben mit einem ausgebildeten Vordergestell, bester Ausführung der Strassen etc. herrschte immer noch der Kraftschluss überwiegend vor, namentlich in der Innehaltung der Fahrrichtung, welche eingeübte Zugthiere und eine intelligente Führung derselben erforderte. Da kommt man auf den Gedanken, den Kraftschluss in der Leitung des Fahrzeuges durch Paarschluss zu ersetzen. Die Schiene, die Eisenbahn, wird als Element mit dem Rade gepaart, der Kraftschluss nur noch für die senkrechten Störungskräfte belassen. Der Schritt in der Richtung der machinalen Vollkommenheit, dessen volle Aufnahme in das Verständniss allerdings anderthalb Jahrhunderte in Anspruch nahm*), war ein ungeheuerer; es war derjenige, welcher Wagen und Weg zur Maschine vereinigte. Die Schiene ist ein Theil dieser Maschine, nämlich das festgestellte Element der dem Mechanismus zu Grunde liegenden kinematischen Kette. Der ferneren Verbesserung des Paarschlusses in derselben, der Beseitigung des noch störenden Restes des Kraftschlusses im Gleis, in den Achsenhaltern, in den Federgehängen der Wagen wie der Lokomotive sehen wir zur Stunde die grösste Aufmerksamkeit zuwenden. Dem gegenüber zeigt sich das in den letzten Jahren wieder fiebrisch aufgenommene Problem der Strassen-Lokomotive zu ewiger Unvollkommenheit seiner Lösungen verurtheilt, da es an einem inneren Widerspruche krankt. Es will eine Maschine hervorbringen, und doch gleichzeitig auf die innerste Eigenthümlichkeit der Maschine, die Elementenpaarung, verzichten. Andererseits erscheinen Bestrebungen, wie die bei Boydell's Strassenfahrmaschine, wenigstens ein Stück transportablen, mit dem Rade paarbaren Elementes mitzuführen, als Aeusserungen des allgemeinen Triebes der Kraftschluss-Beschränkung. Auch das Thompson'sche Gummi-Triebrad für Strassenlokomotiven zählt im Grunde genommen hierher. Denn der sich äusserlich abplattende, schief pressende, dem Strassenpflaster anschmiegende Gummiring bietet in seiner Innenfläche dem starren Theile des Radreifens eine schlichte gleichförmige Laufflläche, die derjenigen der Bahnschiene entsprechend ist.

Auch die Turbine in ihrer zunehmenden Vervollkommnung ist hier anzuführen. Aus dem Strauberrad der Tiroler und

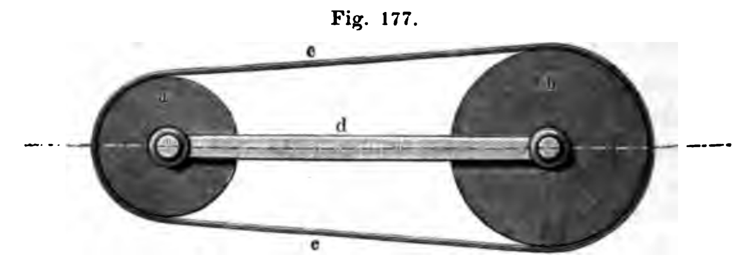
*) Holzbahnen waren auf den Gruben von Newcastle schon 1676 im Gebrauch, die ersten eisernen Schienen datiren von 1738.

Schweizer Hochgebirgsthäler hat sie der Mechaniker unseres Jahrhunderts gestaltet. Die umhersprühenden Wasserstrahlen stürmten und wirbelten gegen dessen unregelmässige Schaufeln in ungestümem Kraftschluss; bei der Turbine aber sind sie mit bereits hoher Vollkommenheit mit dem fein gearbeiteten Rade zu einem Elementenpaare vereinigt. Der Weg, welchen die Steinzerkleinerung durchlaufen hat, vom alten Pochwerk zu den Quetschwalzen, mit welchen sie sich eine Zeitlang begnügen zu wollen schien, um dann mit beinahe plötzlichem Entschluss zur Steinbrechmaschine überzugehen, ohne welche heute kaum ein Hochofen bestehen kann, ist der vom Schlusse durch die sensiblen Kräfte der gehobenen und niederfallenden Massen zu den latenten Kräften eines zusammengesetzten Hebelwerkes. Aehnlich ist der Weg von der alten Eisenschmiederei mit Schwanz- und Aufwerfhammer zur heutigen Arbeit mit Quetsche, Walzwerk und Schmiedepresse gewesen.

Das landwirthschaftliche Maschinenwesen zeigt als eine noch junge Gattung überall den schwierigen Versuch, einen höchst verwickelten Kraftschluss durch Paar- und Kettenschluss zu verdrängen oder wenigstens einzuschränken.

Wie sehr wir noch beschäftigt sind, aus dem Kraftschluss heraus zum kinematischen zu gelangen, und wie sehr wir empfinden, dass darin zu etwas Neuem, zu einem besseren Zustande hingestrebt wird, zeigte am Schluss des vorigen Jahrhunderts die hydraulische Presse, deren unmittelbaren Parallelismus zu dem uralten[40]) Flaschenzuge ich §. 43 nachwies, und über welche man noch heute nicht aufhören will, sich zu verwundern, obwohl man den Flaschenzug dieser Aufmerksamkeit nicht mehr würdigt; ganz

Fig. 177.

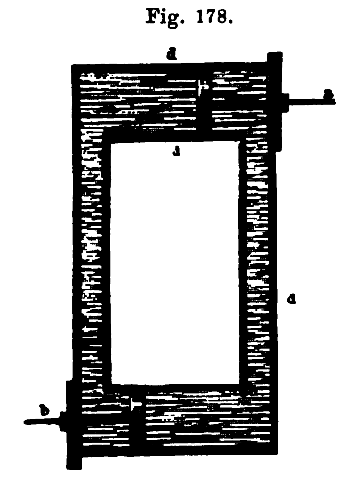


dasselbe zeigt das in §. 44 besprochene Aufkommen und die warme Aufnahme des sogenannten Wassergestänges, Fig. 177. Ich wies schon dort darauf hin, dass dieser Mechanismus völlig analog

dem Riementriebe Fig. 178 ist, neben dem er erst so spät auftaucht.

Dieser grosse Altersunterschied zweier dem tiefern Grundgedanken nach einander so nahestehenden Vorrichtungen beweist recht deutlich, wie die Erfindung ihren Weg noch ohne Stetigkeit, in Sprüngen, aus undeutlich empfundenen Antrieben heraus macht.

Fig. 178.



Das immer weitergehende Bestreben, den Kraftschluss wegzuschaffen, zeigt sich in interessanten Formen in gewissen feinen Ausläufern unserer modernen Konstruktionen, so den mechanischen Oelungsapparaten und den sogenannten Sicherungen an Verschraubungen, Keilungen und dergleichen.

Die mechanischen Oeler ersetzen die kraftschlüssige Zufuhr der Flüssigkeit durch eine solche mittelst oft sehr verwickelter kinematischer Ketten, welche die Aufgabe manchmal mit wahrem Raffinement lösen; die Sicherungen der Schrauben- und Keilverbindungen setzen an die Stelle des Schlusses durch Reibung und Schwere den sorgfältig ausgebildeten Paar- oder Kettenschluss.

Die Zahl der Konstruktionstheile der modernsten Dampfmaschinen gegenüber älteren hat dadurch ganz beträchtlich zugenommen. So bedingen z. B. bei einem gewöhnlichen Kriegsdampfer die Schraubensicherungen allein eine Vermehrung der Zahl der Theile um 200 bis 400 Stück.

Als weiteres Beispiel seien die Zahnräder angeführt[11]). Seit Jahrtausenden bekannt, wie sie sind, hat ihre Verbesserung bis heute wesentlich an der Beseitigung des Kraftschlusses gearbeitet, der namentlich in dem sogenannten Spielraum*) der Zahnflanken noch immer steckt und oft genug störend fühlbar wird. Während bei der chinesischen Göpelmühle und bei dem ägyptischen Wassergöpel, der sog. Sakkiah[12]), weite Spielräume die als blosse

*) Von den Engländern für uns bedeutungsvoll „Freiheit" (freedom) genannt, also als „der kosmischen Freiheit näher stehend", erkannt.

Pflöcke ausgeführten Zähne trennen, diese also nur der alleräussersten Nothwendigkeit des gegenseitigen Mitnehmens genügen *), sehen wir im Mittelalter und den letzten Jahrhunderten die Spielräume kleiner und kleiner werden, indem man mit zunehmender Sorgfalt den kinematischen Formgebungsbedingungen Folge leistet, bis wir sie heute schon auf einen kleinen Bruchtheil der Theilung herabgedrückt haben. Man hat sich im letzten Jahrhundert ganz allmählich daran gewöhnt, das Rad und seine Zähne als eine Einheit, ein Ganzes zu verstehen, und demgemäss die Zahnprofile im Zusammenhang aufzufassen. Nach meiner Ueberzeugung wird nach wenig Jahrzehnten das spielfrei arbeitende Zahnrad die Regel sein **).

In voller Thätigkeit endlich beobachteten wir auch bereits oben (§. 46) den Kampf zwischen Paarschluss und Kraftschluss auf dem Gebiete der Kraftmaschinen, da wo sichs um die Mittel zur Ueberschreitung der Todpunkte in Mechanismen handelt. Wir bemerkten, wie in zunehmendem Maasse die Zwillingsmaschine über die einfache die Oberhand gewinnt. Noch vor zwanzig Jahren konnte man tüchtige und verurtheilslose Praktiker sich bestimmt dahin äussern hören, dass für die Förderung auf den Gruben die Zwillingsdampfmaschine nicht das Richtige sei; die einfache Maschine sei ihr eben wegen der „Einfachheit" ohne Frage vorzuziehen; man werde sich bald besinnen und von diesen Neuerungen, welche nur Modesache seien, zurückkommen. Heute aber triumphirt die ungleich mehrtheilige Zwillingsmaschine auf den Gruben schon so viel wie überall. In den Walzwerken wandte und wendet man noch dem Kraftschluss zur Liebe die kolossalsten Schwungräder an, die sich bekanntlich öfter geradezu lebensgefährlich erweisen. Wie schon in §. 47 besprochen, ist auch hier der neueste Fortschritt der, dass an die Stelle der einfachen die Zwillingsmaschine gesetzt worden ist. Ja es darf angenommen werden, dass diese auch in den Spinnereien, Webereien, Maschinenfabriken und Manufakturen aller Art ihr bereits begonnenes siegreiches Vordringen in vielleicht schon einem Jahrzehnt vollendet haben wird. Hier also, wie allerorten, verliert der Kraftschluss immer nur an Boden,

*) S. u. a. Eyth's Agrikultur-Maschinenwesen in Aegypten. Stuttgart 1867.

**) Nachdem die obige Bemerkung bereits ein halbes Jahr veröffentlicht war, erschien auf der Wiener Weltausstellung als unerwartet frühe Bestätigung die Sellers'sche Räderschneidmaschine, welche Zahnräder mit nur $1/100$ Theilung Spielraum liefert.

um dem wenn auch zusammengesetzteren, so doch kinematisch vollkommeneren Paar- und Kettenschluss das Feld zu räumen. —

Neben der inneren Vervollkommnung, welche die moderne Maschine von der früheren unterscheidet, hat dieselbe auch eine wesentliche und sehr wichtige äussere aufzuweisen. Diese besteht in der besseren Herstellung der einzelnen Theile der Maschine, d. i. der Glieder der kinematischen Kette, aus welcher sie gebildet ist. Die im vorigen Jahrhundert stattfindende Einführung des Gusseisens als Materials der Maschinenstücke an Stelle des Holzes brachte es allmählich dahin, dass Balanciers, Zahnräder, Hebel, Gestelle u. s. w. aus immer weniger Stücken, womöglich endlich aus einem einzigen gebildet werden. In ähnlicher Weise hat in unseren Tagen der Gussstahl auf die Schmiedeisenbauten einzuwirken begonnen. Mit immer weiter eindringendem Studium passt dabei die Maschinenbaukunde die latenten Kräfte der Theile mit zunehmender Genauigkeit den sensiblen an und bringt dadurch die Abmessungen auf das geeignetste Maass. So hat denn hier neben der Verminderung der Abmessungen wirklich eine Verminderung der Zahl der Theile, oder richtiger der Stücke, also eine Vereinfachung stattgefunden, welche sich äusserlich auffallend bemerkbar macht. Aus diesem Grunde erscheint die moderne Maschine oft einfacher als die ältere, obwohl ihre Zusammensetzung in der That im allgemeinen ungleich reicher ist. So z. B. sind die alten Uferkrane, mit welchen nur recht bescheidene Lasten gehoben werden konnten, bedeutende, ja grossartige Bauten zu nennen im Vergleich mit unseren so schlicht aussehenden und doch viel stärkeren neueren, die innerlich so wesentlich komplizirter sind. Aehnliches gilt von den alten Pumpwerken, Mühlwerken, Dampfmaschinen u. s. w. im Vergleich zu den modernen. Diese bedeutende äussere Vereinfachung der Maschine, welche noch in steter Fortbildung begriffen ist, hat es ermöglicht, die Ausführung der Maschine mehr und mehr zu erleichtern. Man darf nicht vergessen, dass diese Erleichterung auf der in den Hilfsmitteln der Werkstätten aufgespeicherten kolossalen Masse von Arbeit beruht. Es sind die Zinsen dieses Arbeitskapitals, was wir in der äusseren Vereinfachung der Maschine geniessen. Für uns darf sie die beobachtete Zunahme der innerlichen Komplizirtheit nicht verdunkeln. Dass letztere nicht ohne Grenzen gesteigert werden kann und wird, vielmehr einer erkennbaren, im Wesen des kinematischen Zusammenhanges liegenden Grenze sich bereits allgemein annähert, werden

wir weiter unten finden. Einstweilen muss ich diese höchst merkwürdige und wichtige Frage noch auf sich beruhen lassen.

Fassen wir aber die Ergebnisse unserer Umschau nunmehr zusammen, indem wir zurückgehen auf die allgemeinen Grundbegriffe, welche wir zu Anfang dieses Kapitels gebildet haben, so können wir sagen, dass die Kraftschlussbeschränkung wesentlich das Mittel gewesen ist, die Maschine geeignet zu machen, den ihr zugewiesenen Antheil an der Aufgabe besser zu erfüllen. Diese Beschränkung gestaltete allmählich aus den Nothbehelfen der ersten Versuche die sicher wirkenden Elementenpaare und einfacheren Getriebe. Dabei entstand aber zugleich die Möglichkeit und Veranlassung, den Wirkungskreis der Maschine auszudehnen, das intellektuelle Einwirken des Menschen erfolgreicher zu machen, oder wie wir es oben ausdrückten, herbeizuführen, dass der Antheil der Maschine ein grösserer Bruchtheil der ganzen Aufgabe werde.

Dieses letztere Bestreben rief sodann auch die Erfindung neuer Mechanismen hervor. Auch hierbei aber tritt der Kraftschluss als das Näherliegende, als Uebergangsstufe auf. Dies zeigt sich noch heute auffallend stark an denjenigen Maschinen, welche vom Arbeiter, vom krassen Empiriker, erfunden werden. Solcher Maschinen kommen ja immer noch manche vor; sie sind nicht selten Pioniere gewesen, die ein neues Gebiet aufschlossen. Es ist als ob man die Entwicklungsstadien der Maschine wie durch ein umgekehrtes Fernglas auf ein kleines Bildchen zusammengedrängt vor sich sähe, so viele Gewichte, Federn, Hebedaumen, Klinken, Stempel, Schwungräder u. s. w. sieht man da vereinigt, um ihren kraftschlüssigen Gang rasselnd und prellend zu vollziehen. Erst der geübte und ausgebildete Konstrukteur beseitigt lächelnd das Uebermaass an Unsicherem und ersetzt dasselbe durch Sicheres. Aber auch selbst dieser Geübte und Ausgebildete, wenn er eine ganz neue Maschine entwirft, wendet beim ersten Anlauf noch manchmal den Kraftschluss an, wo er ihn füglich hätte durch Paarschluss ersetzen können, und bei späterer Musse auch ersetzt. Ein schlagendes Beispiel hierzu liefert die Corliss-Steuerung der Dampfmaschine; bei ihr ist der Kraftschluss in der üppigsten Blüthe; alle Verbesserungsvorschläge für dieselbe laufen im Stillen mehr oder weniger auf Beseitigung desselben hinaus. So sehen wir denn auch in der intensiven Vervollkommnung der Maschine die Verdrängung des Kraftschlusses immer noch vor sich gehen, um ihn auf sein be-

schränktes Grenzgebiet, das wir ihm weder nehmen wollen noch dürfen, zurückzudrängen.

Nicht übersehen dürfen wir, dass bisher die allgemeine Entwicklung der Maschine gewissermaassen unbewusst bewirkt worden ist, und dass diese Unbewusstheit der älteren Erzeugungsweise einen besonderen Stempel aufgedrückt, ja sie dem scharfen Verständnisse sogar entzogen hat. Daneben aber steht heute diejenige Erzeugungsweise der modernen Maschine, welche von vornherein in den oben erwähnten sehr geübten Händen liegt. Hier ist schon manches, wenn auch nicht gerade vieles, klar und absichtsvoll erfasst. Hier sehen wir nicht sowohl alte mangelhafte Vorrichtungen verbessern, als vielmehr neue Einrichtungen fertig ins Leben setzen, welche der Maschine solche Thätigkeiten unterwerfen, die bisher deren Herrschaft entzogen geblieben waren. Hier tritt uns denn alsbald der fertige, obwohl neue Mechanismus, die tadellos geschlossene zwangläufige Körperverbindung entgegen, um sich der praktischen Prüfung darzubieten, wie man bei den Nähmaschinen, den neuen Gewehren und Geschützen u. s. w., stellenweise beobachten kann. Es ist unverkennbar, dass in manchen dieser neuen Einrichtungen Geist von einem neuen Geiste, ein besonderes, uns frappirendes, von dem älteren Maschinenwesen fast scharf geschiedenes Wesen steckt. Es unterscheidet sich von jenem dem Karakter nach etwa so, wie das Integriren vom Differenziren. Dort, bei der älteren Form, bildet das unausgesetzte „Verbessern", das „*improvement*", was, wie wir sehen, nicht ohne tiefere Ursache stehende Redensart geworden ist, den Grundzug. Hier dagegen wird Neues unmittelbar erzeugt; hier bemerken wir mitunter das, wie mit einem scharfen Klang einsetzende Aufkommen von sofort sehr vollkommenen Maschinen. Hier sind wir in die Anfänge einer Auffassung eingetreten, welche wahrscheinlich einmal die allgemeine unter den eigentlichen Fachleuten sein wird. Auf sie wird sich auch nach meiner Ueberzeugung unser polytechnischer Maschinenbau-Unterricht mit zunehmender Bestimmtheit hinwenden. Die Art der menschlichen Anlagen ist indessen im grossen Ganzen unveränderlich. In jedem Individuum muss die Entwicklung der Begriffe mikrokosmisch von Anfang an wieder durchgemacht werden. Aus diesem Grunde, und weil unvollkommene Lösungen doch immerhin Lösungen sind, wird die jeweilige Gegnerschaft von Paarschluss und Kraftschluss niemals eigentlich erlöschen.

Das ganze innere Wesen der Maschine ist, wie aus unseren Untersuchungen allmählich zur vollen Klarheit hervorgegangen ist, das Ergebniss einer planvollen Beschränkung, ihre Vervollkommnung bedeutet die zunehmende kunstvolle Einengung der Bewegung bis zum völligen Ausschluss jeder Unbestimmtheit. An dieser Steigerung der Beschränkung hat die Menschheit durch Aeonen gearbeitet. Suchen wir eine Parallele hierzu auf anderen Gebieten, so können wir sie wohl in dem grossen Problem der menschlichen Gesittung finden. Dieser gehört im Grunde genommen die Entwicklung des Maschinenwesens als ein Faktor an, indem sie zugleich ihr verschärftes Gegenbild vor Augen führt. Wie uns der Dichter die mildgesitteten und darum uns so liebenswerthen odysseïschen Irrfahrer gegenüberstellt der zügellosen Naturkraft des Kyklopen, des „gesetzlos denkenden Scheusals“, so steht für uns das ungebändigte Walten der Naturkräfte, welche in schrankenloser Freiheit aufeinanderprallen, um im Kampfe aller gegen alle das unbekannte Erzeugniss der Nothwendigkeit hervorzubringen, gegenüber der durch Beschränkung auf ein einziges und beabsichtigtes Ziel gelenkten Kräftewirkung in der Maschine. Weise Beschränkung schuf den Staat, sie allein erhält ihn und befähigt ihn zu den grössten Leistungen; Beschränkung hat uns in der Maschine allmählich die gewaltigsten Kräfte unterworfen und lenksam an unsere Schritte gefesselt.

§. 51.

Die Antriebe zur Entwicklung der Maschine.

Ich bin im Vorstehenden der hergebrachten und sehr verbreiteten, man muss wohl sagen herrschenden Ansicht entgegengetreten, als ob die Maschine aus dem Bedürfniss der Kraftleistung hervorgegangen sei, und habe gezeigt, wie aus inneren Gründen diese Ansicht aufzugeben ist. Es war vielmehr, wie wir gesehen haben, das Bedürfniss der Bewegungs-Erzeugung, was den machinalen Gedanken zuerst einflösste. Damit war indessen durchaus nicht gesagt, dass das Kraftbedürfniss einflusslos geblieben sei. Wir fanden vielmehr im Gegentheil, dass die Kraftfrage entschieden in die Entwicklungsgeschichte der Maschine eingreift, obwohl sie sich immer wieder in der kinematischen, welche die innere eigenthümliche Entwicklung der Maschine ist, ausprägt.



Zwei Linien also sind es, in welchen sich die äusseren treibenden Anlässe zur Entwicklung der Maschine bewegen: die erste und am frühesten begonnene ist die der Ansprüche an die Bewegungsmannigfaltigkeit, die andere diejenige der Forderungen an die Kraftleistung. Diese Antriebe laufen neben einander her, vereinigen sich hie und da, um sich auch gelegentlich wieder zu trennen, beide unaufhörlich auf die Vervollkommnung der Maschine hinwirkend. Das Kriegs- und das Bauwesen, überhaupt die Lastenbeförderung, drängten auf Vergrösserung der geleisteten Kräfte; die Manufakturen, die Zeitmessungs- und andere Instrumente forderten die Bereicherung der erzielten Bewegungen. Noch heute sind die beiden Richtungen trotz unserer vorgeschrittenen Abstraktion, welche Bewegung und Kraft nie getrennt betrachtet wissen möchte, deutlich zu unterscheiden, denn immer ist in der einen Maschinengattung die Kraftfülle, in der anderen der Bewegungsreichthum vorwiegend. Verschieden auch ist der geistige Vorgang in dem sich entwickelnden Menschengeist hinsichtlich beider Fragen gewesen.

Die motorischen Kräfte findet der Mensch in dem Haushalt der Natur thätig vor; allein sie sind dort, soweit sie ausser ihm selbst sind, für ihn zunächst nicht vorhanden, ihm unbekannt; er muss sie erst von der Gesammtheit der begleitenden Erscheinungen unterscheiden lernen, sie von ihnen ablösen, sie entdecken. Darum hängt die Vervollkommnung der Maschine hinsichtlich der Kraftfrage innig zusammen mit der Kenntniss des Menschen von der Natur, später der Naturwissenschaft, um bei deren Entfaltung sich ihr nur immer enger anzuschliessen. Papin war, als er die Dampfmaschine erfand, ebensoviel oder mehr Naturforscher, als praktischer Mechaniker, Watt nicht weniger, als er mit seinem durchdringenden Genius in das Getriebe eingriff. So werden auch heute die Kraftquellen mit den höchsten Mitteln des experimentellen und rechnerischen Naturstudiums nach vollendet wissenschaftlichen Methoden aufgesucht, entdeckt und genauer ergründet.

Bewegungen in grosser Mannigfaltigkeit sind in der Natur ebenfalls vorhanden und werden vom Menschen alsbald wahrgenommen; allein es sind dies entweder kosmisch freie Bewegungen oder solche, welche durch den Willen des beseelten Wesens geleitet sind, nicht aber, oder nur in äusserster Seltenheit, jene eng gebundenen und gesetzmässig aus einander hervorgehenden Bewegungen, welche wir durch die Maschine erzwingen. Diese Erzwingung

ist das Erzeugniss menschlicher Denkkraft; sie musste der Mensch durch den werkthätigen Verstand erst schaffen, er musste sie erfinden. Also Entdeckung auf der einen, Erfindung auf der anderen Seite, durch diesen Gegensatz unterscheiden sich die motorische und die kinematische Entwicklungsrichtung der Maschine. Sie sind unabhängig von einander, wirken aber vereint auf die Vervollkommnung der Maschine ein. Der Entdeckung jeder neuen Kraftquelle schliesst sich die Erfindung der Mittel, sie zu verwerthen, an. So war die Entdeckung der motorischen Eigenschaften des Dampfes nicht sowohl der Fortschritt selbst, als die Anregung zu demselben. Sie rief die lebhafteste Thätigkeit der Kombination, das angestrengteste Nachdenken hervor, um durch Erfindung die Mittel zu schaffen, vermöge welcher die neue Kraftquelle nutzbar gemacht werden konnte. Die Verwerthung solcher neuen Quellen zu steigern, blieb die Erfindung unausgesetzt thätig, und verfuhr in ihrem Bestreben je länger je mehr mit Bewusstsein ihrer Zwecke, bis sie heute theilweise schon in die volle Absichtlichkeit und Erkenntniss derselben eingetreten ist. Dass es die Aufgabe der wissenschaftlichen Kinematik ist, das Gesetzmässige in den Mitteln zu diesem Zwecke festzustellen, ist schon früher angeführt worden. —

Haben wir in derjenigen besonderen Weise, kinematische Elementenpaare zu bilden, welche wir Kraftschluss genannt haben, die Form kennen gelernt, in welcher ein Rest kosmischer Freiheit den machinalen Systemen beigemengt ist, welchen zu verkleinern und zu bekämpfen ein vieltausendjähriges Bemühen des Erfindungsgeistes gewesen ist, und nach dessen gänzlicher Beschränkung er sich um so entschiedener neuen Aufgaben zuwenden wird, so sehen wir in ihm andererseits auch das Uebergangsgebiet, welches aus dem ideal machinalen System in das kosmische überleitet. Der Kraftschluss bildet jene, bei der Besprechung der Grenzen des Maschinenproblems (s. §. 1) angeführte, zwar deutliche, aber nicht scharfe Grenzlinie, welche zwischen den beiden Systemen hinläuft. Dem künftigen Geschichtschreiber der Entwicklung der Maschine ist, wie ich annehme, in der Linie des Widerstreites zwischen Kraftschluss und Paarschluss der Ariadnefaden gegeben, der ihn die verworrenen und doch nicht planlosen Gänge der geschehenen Entwicklung führt. Daneben wird es für die fernere Ausbildung des Maschinenwesens vom grössten Nutzen sein, wenn mit dem klaren Bewusstsein an die Aufgabe

herangetreten wird, dass in der Ablösung des Kraftschlusses durch den kinematischen Schluss überall der Kerngedanke, die innerlichste Leitlinie des Fortschrittes liegt, dass also, je entschiedener man auf diesem Wege voranschreitet, man um so eher am Ziele anlangen wird. Dieses Verständniss der Vorgänge überall zu gewinnen und klar hinzustellen, sollte daher meines Erachtens die polytechnische Schulwissenschaft sich zur Aufgabe machen. Wir haben ja unzweifelhaft hier einen der den Erfinder treibenden, drängenden, aber von ihm nicht verstandenen Gedanken, herausgelöst aus seiner Verknüpfung mit anderen, vor uns. Es ist deshalb vollauf gerechtfertigt, eingehende Studien darauf zu verwenden.

Durch solche kann aber auch noch eine andere wichtige Aufgabe erfüllt werden. Es kann vermöge ihrer gelingen, für den Maschinenbildner das Gemeingefühl mit der Gesammtheit der ganzen praktischen Mechanik, und darüber hinaus mit der Gesammtheit der menschlichen Thätigkeit überhaupt, theils festzuhalten, theils wieder herzustellen. Denn dieses Gemeingefühl ist in Folge der bisherigen Richtung bedenklich schwach geworden, ja stellenweise schon ganz verschwunden. Hierzu hat das so populär gewordene Feldgeschrei „Theilung der Arbeit" ganz wider die Absicht derer, die es verbreiteten, vor allem beigetragen.

Missverständlich wird heute dieses Prinzip über die Grenzen hinaus angewandt, innerhalb deren seine guten Wirkungen allein liegen. Eine förmliche Theilung des Wissens versucht sich darauf zu begründen. Wir sind schon so weit gekommen, dass ganze Gebiete des Maschinenbaues einander kaum noch verstehen; dass aber die praktischen Mechaniker von jenen Gebieten menschlicher Thätigkeit, welche ausserhalb der industriellen liegen, etwas wissen, fängt schon an, zu den Seltenheiten zu gehören. Und doch ist nichts gewisser, als dass die ohne Ende fortgesetzte Vereinzelung der Bestrebungen nur zum Nachtheil des Ganzen ausschlagen könnte. Die Wissenstheilung wird man nie ungestraft ins Absolute weiter treiben dürfen; man wird nie unterlassen dürfen, die „getheilten" Gebiete immer wieder zusammenzufassen, und auf höhere Einheiten zurückzuführen, damit der Zweck des Ganzen nicht aus dem Auge verloren werde. Nicht bloss in dem wissenschaftlichen Bewusstsein Einzelner, sondern auch in der Form, in welcher die Erkenntnisse verbreitet und gelehrt werden, sollte das Gefühl der Gemeinsamkeit der menschlichen Bestrebungen seinen Ausdruck finden.

Eine wesentliche Stärkung dieses Gefühles ist in dem Gedanken zu finden, welcher der vorliegenden Skizze einer Entwicklungsgeschichte der Maschine als Voraussetzung diente: in dem Entwicklungsgedanken selbst. Unsere ganze neuere Forschung hat sich mehr oder weniger denselben zu eigen gemacht, sowohl auf dem historischen, als bekanntlich auch sogar auf dem Naturforschungsgebiet, wo er die Geister so lebhaft beschäftigt. Er allein ermöglicht und erfordert zugleich die Auffassung eines ganzen Gebietes als eines Ganzen. Er zwingt zum Weithinschauen, zum Erheben über den Moment. Er vertieft und erhöht gleichzeitig die Auffassung der einzelnen Erscheinung. In ihm liegt eine Stärke der heutigen Wissenschaft, die vor zwei Menschenaltern noch kaum gedacht wurde. Dem Forscher von ehedem stellte sich die Reihe der Erscheinungen nur wenig anders, als in begrenzten Momenten dar. Diese reihten sich wie zu einer Perlenschnur aneinander, in welcher der Kausalzusammenhang nur einen der verbindenden Fäden bildete. Heute dagegen fassen wir eben diesen Zusammenhang und das Wachsthum und den ununterbrochenen Fluss des Gedankens als das Ureigentliche und Wesentliche auf; wir sehen darin nicht sowohl die Verknüpfung der Erscheinungen, als dasjenige, was ihnen ihr Leben und Dasein erst gibt.

Ich habe versucht, diesen Gegensatz dem Leser durch die beiden diesem Kapitel vorangestellten Mottos vor Augen zu führen. Zwischen dem Worte Schillers und demjenigen Geigers besteht der tiefe Gegensatz der ehemaligen und der heutigen Forschung. Die zwar interessevolle, aber doch kühle und beschauliche Auffassung Schillers streift nur leicht unser Inneres; packend aber, und unseren Empfindungen Form und Farbe verleihend, schlagen Geigers Worte an unser Ohr. Sie sind im tieferen besten Sinne modern, und darum noch besonders wirksam. Sie sind zugleich so wahr und allgemein, dass sie, obwohl von einem ganz anderen Forschungskreise ursprünglich ausgesagt, doch auch für das abstrakte Gebiet unserer vorliegenden Untersuchungen ihre volle Gültigkeit behalten.

SIEBENTES KAPITEL.

KINEMATISCHE ZEICHENSPRACHE.

§. 52.

Nothwendigkeit der Bildung einer kinematischen Zeichensprache.

Die in den letzten Artikeln beendigten Untersuchungen haben uns durch die niederen und höheren Elementenpaare hindurch wiederum bis zur kinematischen Kette hingeführt, als zu derjenigen Einrichtung, in welcher wir früher, §. 3, die allgemeine Lösung des Maschinenproblems vorgebildet erblickten. Was wir dort als unmittelbare Schlussfolgerung aus einfachen Grundsätzen zogen, haben wir inzwischen auf dem Wege der genetischen Entwicklung mittelbar zum zweitenmal gefunden, und zwar haben wir zugleich die Anwendbarkeit der kinematischen Kette sich in überraschendem Maasse steigern sehen. Der Blick, den wir auf die Entwicklungsgeschichte der Maschine geworfen haben, liess uns sodann das Zusammenwirken der geistigen Hilfsmittel erkennen, wodurch die kinematische Kette hervorgebracht wurde, und wodurch dieselbe muthmaasslich auch noch ferner weitergebildet werden wird. Es tritt nun die Aufgabe an uns heran, uns dem Gegenstande selbst unmittelbar zuzuwenden.

Mittlerweile hat sich indessen eine so grosse Mannigfaltigkeit der abgeleiteten und ableitbaren einzelnen Fälle ergeben, dass die

Ueberschauung schwer und schwerer geworden ist; namentlich hat die sprachliche Feststellung der einzelnen Eigenthümlichkeiten und die Unterscheidung der begrifflich zu trennenden Fälle an Schwierigkeit fühlbar zugenommen, und verspricht wegen der Formenfülle, welche die Gesammtheit der kinematischen Ketten augenscheinlich besitzen muss, nur noch schwieriger zu werden. Und doch hat sich gleichzeitig das Bedürfniss, die inneren Verwandtschaften der Mechanismen überblicken zu können, in gesteigertem Maasse fühlbar gemacht. Unwillkürlich sind wir hierdurch in die Lage gekommen, nach einer Erleichterung für den Ausdruck suchen zu müssen.

In ähnlicher Lage hat die Mathematik und nach ihr die Chemie zu dem vorzüglichen Hilfsmittel der Zeichensprache gegriffen, welche alsbald in beiden Wissenschaften ein so wesentliches Förderungsmittel geworden ist, dass beide ohne sie nicht mehr zu denken sind. Beide griffen zu ihr in dem Augenblicke, wo die begriffliche Feststellung ihrer Grundoperationen gelungen war. Die für unsern Gegenstand gewonnenen Begriffe haben sich nun so deutlich gestalten und scharf sondern lassen, ihre gegenseitigen Beziehungen konnten so bestimmt angegeben werden, dass die Verkürzung des Ausdruckes durch Anwendung einfacher Zeichen sowohl gerechtfertigt, als auch ausführbar erscheint. Wir wollen uns deshalb zuvörderst mit diesem wichtigen Hilfsmittel ausrüsten.

Man wird sich sehr bald überzeugen, welch ein Gewinn in der Möglichkeit liegt, einen zusammengesetzten Begriff da, wo er neben anderen von derselben Gattung als eine Einheit gebraucht wird, auch durch ein einziges Zeichen darstellen zu können. Man erspart sich dadurch das jedesmalige Zurückkommen auf bereits definirte Eigenschaften, und gewinnt wegen der Knappheit des Ausdruckes Urtheile über den Zusammenhang und die Gegenseitigkeit der verbundenen Ganzheiten, welche bei der gewöhnlichen Ausdrucksform kaum erhaltbar und namentlich kaum mittheilbar sind. Möge daher der Leser die abermalige Abweichung vom Hergebrachten, welche ihm wegen der Aneignung der zu besprechenden Abkürzungsweise zugemuthet wird, nicht scheuen. Denn eine Abkürzungsweise, und nichts anderes, nicht ein hieroglyphisches Versteckspiel vor dem Uneingeweihten, ist eine jede wissenschaftliche Zeichensprache. Uebrigens wird ihre Erörterung auch hier kein aufhaltendes Einschiebsel sein, sondern uns vielmehr Gelegenheit geben, bereits über mehrere wichtige kinematische Ketten Klarheit zu erwerben.

§. 53.

Bisherige Versuche.

Es fehlt nicht ganz an Versuchen, die Zusammensetzung der Maschine abgekürzt auszudrücken. Unter anderem bedienen sich die Uhrmacher und die in diesem Zweige der Technik thätigen Schriftsteller mitunter einer Art von Notirung, welche den Zweck hat, die Aufeinanderfolge der Zahnräder und Achsen des Uhrwerkes anzugeben. Willis geht auf diese Bezeichnungsweise etwas näher ein. Eine Form, welcher er sich selbst anschliesst, ist z. B. die folgende, für das Räderwerk einer gewöhnlichen Pendeluhr bestimmte:

```
48
6————45
          6——————30
```

wobei die Zahlen Zähnezahlen, die Striche das Festverbundensein zweier Räder durch eine Achse, das Uebereinanderstehen zweier Zahlen das Eingreifen der beiden zugehörigen Räder bedeutet. Setzt man die Namen der Räder ihren Zähnezahlen bei, so hat man:

```
Grosses Rad 48
       Trieb 6————45 zweites Rad
                 Trieb 6——————30 Steigrad.
```

Andere haben verschiedene von der vorstehenden abweichende Schreibweisen angewandt*). Man sieht indessen alsbald, dass es sich hier nur um die Darstellung eines Theiles eines ganz vereinzelten Falles, und weniger um das Wesen des kinematischen Inhaltes der Zahnräder, als um eine an sich gewiss recht zweckmässige Methode handelt, die Uebersetzungsverhältnisse derselben übersichtlich zusammenzustellen.

Bemerkenswerther und in der That für die allgemeinste Anwendung beabsichtigt ist die von dem Engländer Babbage, dem berühmten Erfinder der bewunderungswürdigen Logarithmen-Rechen-

*) Z. B. schreibt nach Willisens Mittheilung im vorliegenden Falle:

Oughtred	Derham	Allexandre
30	48)6—45)6—30	48
6)45		45—6
6)48		30—6

maschine oder Tabellenrechenmaschine aufgestellte „Methode, die Thätigkeit einer Maschine durch Zeichen auszudrücken". Babbage, wohl durch die unendlich schwierige Konstruktion seiner Rechenmaschine dazu veranlasst, hat seine Methode in einer besonderen, wenig gekannten kleinen Schrift dargelegt*) und darin auf zwei grössere Beispiele, nämlich eine Wanduhr mit Geh- und Schlagwerk und einen hydraulischen Widder angewandt. Im ganzen läuft das Verfahren darauf hinaus, dass sämmtliche bewegten Theile der zu notirenden Maschine vorerst in eine Tabelle in der Ordnung ihrer Aufeinanderfolge mit ihrer Benennung eingetragen werden, worauf zu jedem Theile tabellarisch geordnet dessen Bewegungen, durch Zeichen ausgedrückt, notirt werden. Als Zeichen dienen Pfeile von verschiedener Form, ganze Striche, gebrochene Striche, Klammern, Winkelhaken, Kreuzchen u. s. w. In der That ist es möglich, unter Zuhilfenahme der Zeichnung die Thätigkeit der so notirten Maschine zu verstehen, wenn man sich vollständig auf die Bedeutung der Zeichen eingeübt hat. Dennoch ist die Methode nicht irgendwie gebräuchlich geworden. Das technische Publikum hat keine Notiz von derselben genommen und dadurch unwissentlich zu der tiefen Verstimmung beigetragen, die sich in Babbage's kurz vor seinem Ableben erschienenen Werke kundgibt. In diesem schlägt er, wie Timon von Athen mit seiner Schaufel, heftig um sich, die Zeitgenossen des Mangels an Verständniss und Würdigung seiner Werke beschuldigend. Bei aller Fülle seiner wirklich bedeutenden Verdienste in anderen Richtungen ist doch die Nicht-Aufnahme seiner Notirungsmethode ohne Zweifel in deren eigenen Mängeln und nicht im Publikum zu suchen.

Denn das, was Babbage mit seiner Notenschrift ausdrückt und ausdrücken will, ist nicht die eigentliche Zusammensetzung der Maschine aus wissenschaftlich definirten und in den stenographischen Zeichen erkennbaren Stücken, sondern bloss eine immerhin nur höchst allgemeine Andeutung von der Bewegung dieser Stücke, welche letztere er durch die gewöhnliche Schrift uud Redeweise bezeichnet. Man erfährt, ob ein so und so benanntes Stück sich vorwärts oder rückwärts dreht, absetzend oder ununterbrochen, gleichförmig oder ungleichförmig läuft, und in Fällen, wo es sich um Achsendrehungen handelt, auch noch in welchem Uebersetzungs-

*) A Method of Expressing by Signs the Action of Machinery, by C. Babbage, London 1826.

verhältniss u. s. w. es sich dreht. Es liegt aber auf der Hand, dass bei diesem System eine und dieselbe Notirung völlig verschiedenartig gebildeten Mechanismen zukommen kann. Die Notirung erstreckt sich bloss auf eine Aeusserung der dem einzelnen Organe innewohnenden Eigenschaften, nicht auf deren vollen Inhalt; sie ist nichts anderes als eine verkürzte Beschreibung der Thätigkeit der Maschine, nicht aber eine Zurückführung ihrer Zusammensetzung auf allgemeine Grundgesetze. Trägt man die von Babbage vorgeschlagenen Zeichen in die immerhin unentbehrliche Zeichnung selbst ein, so wird an Deutlichkeit gewiss sehr und weit mehr gewonnen werden, als durch die gewaltsame Abstraktion auf die Tabelle.

Für unser Vorhaben, die kinematische Verkettung durch Zeichen darzustellen, leistet Babbage's Methode keinerlei Dienste; ich übergehe deshalb auch die Vorschläge von Willis*), sie durch gewisse Abänderungen noch etwas besser anwendbar zu machen.

§. 54.

Verschiedene Arten der erforderlichen Zeichen.

Die zu bildende kinematische Zeichensprache hat mit der mathematischen die Aufgabe gemein, gewisse Operationen, welche mit den bezeichneten oder benannten Körpern vor sich gehen sollen oder vorgehend gedacht werden, anzudeuten; anderntheils ist ihre Aufgabe derjenigen der chemischen Zeichensprache ähnlich, indem sie über die Qualität der benannten Dinge eine gewisse und zwar thunlichst weit gehende Auskunft geben soll. Die Zeichen für die kinematischen Körper dürfen also nicht an sich bedeutungslos, wie in der Mathematik sein, wo verschiedene Buchstaben nur die Verschiedenheit der Grösse der benannten und hinsichtlich ihrer Messbarkeit gleichartigen Dinge angeben, sondern es wird jeder Buchstab, wie in der Chemie, eine bestimmte Körpergattung, und zwar eine Gattung von geometrischen Körpern anzugeben haben. Der Buchstab wird also zunächst für den Namen des Körpers, d. i. des zu bezeichnenden, mit bestimmten,

*) Siehe Willis, Principles of mechanism, I. Auflage, S. 343. II. Auflage, S. 292.

durch den Namen mitbezeichneten Eigenschaften begabten kinematischen Elementes zu setzen sein. Wir wollen den Buchstab in dieser seiner Verwendung das Gattungs- oder Namenzeichen für das Element nennen.

Das Zeichen für den allgemeinen Namen eines kinematischen Elementes, wie z. B. ein Zeichen für „Schraube“, „Drehkörper“, „Prisma“ u. s. w. genügt aber selten ohne weiteres. Es bedarf vielmehr gewöhnlich noch näherer Angaben über die besondere Art oder Form des Körpers, so z. B. einer Angabe darüber, ob die Schraube auf der Aussen- oder auf der Innenseite eines Körpers angebracht ist, also ob die Schraubenspindel oder die Schraubenmutter gemeint sei. In beiden Fällen ist die geometrische Grundfigur dieselbe, der Unterschied ihrer Anwendungsformen aber wesentlich. Die zur näheren Angabe der besonderen Form dienenden Zeichen, welche wir mit den Namenzeichen zu verbinden haben werden, nennen wir Art- oder Formzeichen.

Ausser den beiden genannten werden sodann noch Zeichen einer dritten Gattung erforderlich sein, diejenigen nämlich, welche angeben, in welcher gegenseitigen Beziehung zwei oder mehrere Elemente im Mechanismus stehen, ob zwei benachbarte Elemente gepaart oder ob sie zu einem Gliede festverbunden sind, auch in welcher geometrischen Lage letzteres stattfindet, ob ein Kettenglied beweglich oder festgestellt ist, also welche Beziehung es zum ruhenden Raumsystem hat u. s. w. Wir wollen die hierfür dienenden Zeichen Beziehungszeichen nennen.

Je schärfer und je ausführlicher die Zeichen über die kinematischen Elemente und deren Verkettung Aufschluss geben, um so besser wird es sein. Man wird sich indessen bei einem gewissen Maass von Vollständigkeit genügen lassen können, um Weitläufigkeiten zu vermeiden; das eigentlich Wesentliche und Allgemeine indessen muss auf alle Fälle durch die Zeichen ausgedrückt werden.

§. 55.

Gattungs- oder Namenzeichen.

Die Namenzeichen sollen zur Bezeichnung kinematisch definirbarer Körper dienen, und werden am besten so gewählt, dass sie, dem Beispiele der Chemie folgend, an die sprachlichen Namen an-

knüpfen. Wir wählen, wie dort nach Möglichkeit geschehen ist, grosse lateinische Buchstaben oder Versalien. Die folgenden zwölf Zeichen wollen wir für die mit Namen beigeschriebenen Elementengattungen gebrauchen.

S Schraube,	*G* Kugel (Globus),
R Dreh- (Rotations-) Körper,	*A* Bogen (Arcus),
P Prisma,	*Z* Zahn, Vorsprung,
C Cylinder,	*V* Gefäss,
K Kegel,	*T* Zugkraftorgan,
H Hyperboloid,	*Q* Druckkraftorgan.

Es wird auffallen, dass die Zahl der Elementengattungen so gering ist. In der That ist aber das Gebiet der kinematischen Formen so begrenzt, dass eine grössere Zahl von Zeichen nicht erforderlich ist; ja es hat sogar hier eine gewisse Verschwendung in der Aufnahme der Zeichen stattgefunden, nämlich in derjenigen von *A* um *Z*, von denen das erstere ein Stück eines Drehkörpers, das letztere, wenn man will, ein Stück eines Prismas, eines Kegels, Cylinders u. s. w. bezeichnet. Es ist auf alle Fälle günstig, mit so wenig Zeichen auskommen zu können. Die Buchstaben sind mit Sorgfalt so ausgewählt, dass sie möglichst naheliegende Gedächtnissbrücken bilden, auch so, dass ihre Benutzung in anderen europäischen Sprachen kaum schwerer sein wird, als in der unsrigen. Ich kann aus Erfahrung berichten, dass die Memorirung der Zeichen sehr leicht gelingt.

§. 56.

Art- oder Formzeichen.

Bei Feststellung der kinematischen Formzeichen stösst man alsbald auf eine gewisse, hinsichtlich unserer Aufgaben vorhandene Unzulänglichkeit der gebräuchlichen Auffassungsweise der Geometrie. Diese versteht unter irgend einer, von ihr mit einem Namen belegten Körperform einen begrenzten Raum von einer durch den Namen ausgedrückten Gestalt. Diesen Raumtheil nennt sie den Körper, und wählt mit Vorliebe hierfür denjenigen Abschnitt des Raumes, welcher von dem gegebenen geometrischen Gebilde eingeschlossen ist. Offenbar aber herrscht doch hier eine

gewisse Willkür, indem ein innerer Grund nicht vorliegt, weshalb nicht die beiden Abschnitte, in welche das geometrische Gebilde den gesammten Raum oder einen gegebenen Theil desselben eintheilt, gemeint seien.

Für unsere Zwecke ist es aber erforderlich, beide Raumabschnitte genau bezeichnen zu können, sowohl denjenigen, welchen die körperliche Figur einschliesst, als den ausserhalb gelegenen. Werden z. B. zwei parallele Ebenen von einem Normalcylinder rechtwinklig durchsetzt, so ist der innerhalb der Cylinderfläche und der beiden Ebenen gelegene Raumabschnitt für uns zu unterscheiden von demjenigen, welcher zwischen den Ebenen ausserhalb des Cylindermantels sich befindet; mit anderen Worten: wir müssen unterscheiden, auf welcher Seite des Cylindermantels das Stoffliche, das Material des Körpers, welches als Element auftritt, gelegen ist. Wir nun nennen hier den im Innern des Mantels anbringbaren Körper Vollcylinder, den im Aeussern gelegenen Hohlcylinder. Als Formzeichen für den Voll- und den Hohlkörper gebrauchen wir das Plus- und das Minuszeichen.

Die ebene Begrenzung eines Drehkörpers bedarf auch einer Bezeichnung. Sie liegt gleichsam auf der Grenze zwischen + und —; es dient uns daher passend die Null.

Für die kurvenförmige Profilirung, d. i. die nicht geradlinige oder kreisförmige, wenden wir den Circumflex (˜) an, brauchen also:

$^{+}$ für Vollkörper, ^{0} für plane Körper,
$^{-}$ für Hohlkörper, $^{\sim}$ für kurvenförmig profilirte Körper.

Diese Formzeichen werden den Namenzeichen in kleinem Maasstab oben rechts beigefügt, mit Ausnahme des Circumflexes, welcher über den Buchstab gesetzt wird.

Somit bedeutet beispielsweise:

C^{+} Vollcylinder, C^{-} Hohlcylinder,
S^{+} Schraubenspindel, S^{-} Schraubenmutter,
K^{+} Vollkegel, K^{-} Hohlkegel,
K^{0} Plankegel (Kegel von 180^{0} haltendem Spitzenwinkel),
$\tilde{C}$ Cylinder von allgemein kurvenförmiger Basis,
$\tilde{C}^{+}$ einen solchen vollen, $\tilde{C}^{-}$ einen solchen Hohlcylinder,
$\tilde{P}$ Prisma von allgemein kurvenförmiger Basis.

Mit V haben wir oben ein Gefäss bezeichnet; das Zeichen lehnt an das deutsche „Vase“, das lateinische „vas“, das englische

„vessel" u. s. w. an. Wir haben hier die Möglichkeit, seinen Begriff bei der Bezeichnung für besondere Fälle noch zu verschärfen; wir wollen nämlich unter V^+ einen Gegensatz zum Gefäss, d. i. einen das Gefäss im Innern ringsum berührenden Körper verstehen, worauf dann das Gefäss selbst nothwendig V^- heissen muss. V^+ kann also einen Kolben, V^- den zugehörigen Cylinder bedeuten.

Als fernere Formzeichen dienen uns Minuskeln oder Kleinbuchstaben der Namenzeichen. Sie werden den letzteren rechts unten als Zeiger angehängt, und gestatten eine deutliche Sonderung besonderer Elementenformen. Es ist einleuchtend, dass Mehrdeutigkeiten durch Uebereinkunft auszuschliessen sind. Wir wählen folgende Sonderbezeichnungen:

C_z cylindrisches Zahnrad oder Stirnrad, somit
C_z^+ aussenverzahntes Stirnrad,
C_z^- innenverzahntes oder Hohlstirnrad,
K_z^+ Kegelzahnrad, aussenverzahnt, K_z^0 Planrad *),
H_z^+ hyperboloidisches Zahnrad,
H_z^0 hyperboloidisches Planrad **),
$\tilde{C}_z^+$ unrundes aussenverzahntes Stirnrad,
P_z Zahnstange,
C_s^+ cylindrisches Schraubenrad, aussenverzahnt,
T_p prismatisches Zugkraftorgan, also Band, Riemen,
T_p^+ sich aufwickelndes, T_p^- sich abwickelndes Band,
T_s Seil, T_c Drath, T_z Gliedkette, T_r Gelenkkette.

Für die Druckkraftorgane bedarf es besonderer Zeichen für den Fall, dass man flüssige und gasförmige unterscheiden will. Wir wählen die griechischen Zeiger λ und γ hierfür, wonach denn bedeutet:

Q_λ flüssiges Druckkraftorgan, Flüssigkeit,
Q_γ gasförmiges Druckkraftorgan, Gas, Luft, Dampf.

In einzelnen Fällen besteht das Druckkraftorgan aus Körnern von mehr oder weniger rundlicher Gestalt. Wir dürfen diese letztere als der Kugel (G) sich annähernd ansehen, und bezeichnen deshalb mit:

Q_g oder noch genauer Q_g^- ein aus kugeligen Körnern gebildetes Druckkraftorgan.

Andere als die bereits angeführten Zeichenverbindungen werden wir bei geeigneter Gelegenheit bilden.

---

*) Siehe meinen Konstrukteur, III. Aufl. S. 435.
**) Siehe meinen Konstrukteur, III. Aufl. S. 451.

§. 57.

Beziehungszeichen.

Unter den Beziehungen, welche zwei Elemente zu einander in der kinematischen Kette haben, sind die wichtigsten die der Paarbildung und Gliedbildung. Erstere bezeichnen wir durch ein Komma. C, C bedeutet demnach zwei aufeinander rollende Cylinder, C^+, C^+ zwei aufeinander rollende Vollcylinder, C^-, C^+ einen vollen und einen Hohlcylinder zu gegenseitiger Rollung gepaart. Dabei soll sogleich die Uebereinkunft gelten, dass die Einschiebung des Kommas auch die richtige Paarbildung und die Möglichkeit derselben voraussetzt. Deshalb braucht bei C^+, C^+ nicht besonders angegeben zu werden, dass die Achsen der Cylinder auch parallel sind; auch ist C^-, C^- von Haus aus unrichtig, da sich zwei negative oder Hohlcylinder nicht kinematisch paaren lassen.

Die Gliedbildung wird durch den Punkt oder vielmehr durch die Punktreihe bezeichnet. $C^+ \ldots\ldots C^+$ bedeutet also zwei mit einander festverbundene Vollcylinder, $C^- \ldots\ldots C^-$ zwei desgleichen Hohlcylinder.

Die Feststellung eines Gliedes wird durch Unterstreichung der Punktstriche bezeichnet. $\underline{P^+ \ldots\ldots C^+}$ bedeutet ein aus einem Vollprisma und einem Vollcylinder bestehendes, festgestelltes Glied einer kinematischen Kette.

Soll, was selten nöthig ist, deutlich gemacht werden, dass ein Kettenglied elastisch, also eine Feder ist, so wird ein welliger Zug über die Punktreihe gesetzt $\sim\sim\sim\sim\sim$

Eine Reihe anderer Beziehungszeichen sind theils übereinstimmend, theils ähnlich gebildet, wie die in der Arithmetik gebräuchlichen. Sie sind folgende:

$=$ gleich, $>$ grösser, $<$ kleiner, ∞ unendlich;
$|$ konaxial, $||$ parallel, $\angle$ geneigt, $\perp$ normal;
$\not\vdash$ geneigt geschränkt, $+$ normal geschränkt;
$\ddagger$ gleich und konaxial, $\#$ gleich und parallel;
$\cong$ zusammenfallend (kongruent),
$\square$ komplan, in eine Ebene fallend,
$\asymp$ antiparallel (im Viereck),
$\leq$ gleichschenklig oder schenkelgleich (im Viereck).

Die Beziehungen, welche durch diese Zeichen ausdrückbar sind, können zwischen den Elementen sowohl der Paare als der Glieder einer Kette bestehen. Ist eines der Zeichen im Paare selbst anzubringen, so bleibt das Komma weg; wobei indessen für das eingeschobene Beziehungszeichen ein kleiner Maasstab gebraucht werden soll.

Ein Hohlcylinder und ein ihm geometrisch gleicher Vollcylinder werden, wenn sie zu einem Elementenpaar zusammentreten, gleich und konaxial sein, also durch $\mp$ statt durch das Komma zu paaren sein. Da aber diese beiden Körper, wenn sie gleich sind und gepaart werden, auch von selbst konaxial werden, so darf diese eine Beziehung unbeschadet der Deutlichkeit unausgedrückt bleiben; wir können das Paar also schreiben: $C\underline{+}C^-$. Damit dasselbe aber, wenn es ganz für sich allein besteht, auch ein geschlossenes Drehkörperpaar sei, müssen die in §. 15 ausführlich erörterten Bedingungen wegen der Ergänzungsprofile, welche die Querverschiebungen ausschliessen, erfüllt sein. Wir wollen nun hier von vornherein annehmen, dass die durch ein Paarungszeichen verbundenen Elemente, wenn nicht das Gegentheil ausdrücklich gesagt wird, geschlossene Paare liefern. Es wird sich später zeigen, dass im Falle der Nichtschliessung die Schreibung der Kette selbst immer die Möglichkeit gibt, dies anzudeuten. Demnach haben wir die drei niederen Paare: Schraubenpaar, Drehkörperpaar und Prismenpaar zu schreiben:

$$S\underline{+}S^- \qquad R\underline{+}R^- \qquad P\underline{+}P^-$$

Die Bogenscheiben in den dreiseitigen, vierseitigen u. s. w. Hohlprismen (Kap. III.) werden allgemein zu schreiben sein mit der Formel: $\tilde{C}^+,\tilde{P}^-$ oder $\tilde{C}^+,\tilde{P}_p^-$; sie fallen demnach alle in eine und dieselbe Gattung von Paaren. Hinsichtlich des einfachen Drehkörperpaares $R\underline{+}R^-$, bei welchem die Profilform an sich, so lange nur der Paarschluss erhalten bleibt, irgend eine beliebige sein kann, ist zu bemerken, dass es sich, was die entstehende Relativbewegung angeht, nicht vom geschlossenen Cylinderpaar $C\underline{+}C^-$ unterscheidet. Wir dürfen uns deshalb erlauben, für die gewöhnlichen Fälle statt $R\underline{+}R^-$ zu schreiben: $C\underline{+}C^-$. Die Schreibung ist sowohl etwas leichter, als auch namentlich der Name: „Cylinderpaar" statt „Drehkörperpaar"; überdies bedient sich ja die Maschinenpraxis selbst ebenfalls in der Regel des Körpers C für den Körper R. Nur in ganz besonderen Fällen werden wir zum ganz strengen Ausdruck zurückzukehren haben.

Das Beziehungszeichen der zum Kettengliede vereinigten Elemente wird in die Punktreihe gesetzt. So bedeutet $C^{+} \ldots \| \ldots C^{+}$ zwei parallele festverbundene Vollcylinder, also etwa eine Kurbel, $C^{-} \ldots \| \ldots C^{-}$ zwei parallele festverbundene Hohlcylinder, also etwa eine Pleuelstange, $C_{z}^{+} \ldots | \ldots C^{+}$ ein Stirnrad mit einer konaxial mit ihm verbundenen vollcylindrischen Achse, $C_{z}^{+} \ldots | \ldots C^{-}$ ein Stirnrad mit konaxialer cylindrischer Bohrung.

Eine besondere Schreibung wird hie und da für unselbständige Paare erfordert. Zunächst ist es zweckmässig, der Unvollständigkeit der angewandten Elemente einen Ausdruck zu geben. Wir wählen dafür im allgemeinen das Symbol der Division, haben es aber dabei in der Hand, durch den Nenner des Bruches die Schliessungsweise anzudeuten.

Ein überhaupt nur als unvollständig zu bezeichnendes Stück kann durch den Nenner 2 als gleichsam halbirt bezeichnet werden. Ist es kraftschlüssig in seiner Paarung erhalten, so wählen wir den Nenner f, was (wegen „fortis", „force") lautlich an die Kraftschliessung erinnert. Soll eine Schliessung durch eine kinematische Kette angedeutet werden, so wählen wir den Nenner k; wenn noch kurz ausgedrückt werden soll, dass in der Kette etwa eine elastische Feder das eigentlich schliessende Stück ist, den Nenner l, endlich wenn Schliessung durch ein Paar stattfindet (s. §. 47) den Nenner p. Daher bedeutet z. B.:

$\frac{C^{-}}{2}$ einen nicht vollständig ringsum ausgeführten Hohlcylinder,

$\frac{C^{+}}{f}$ einen kraftschlüssig angepressten Vollcylinder,

$\frac{C^{+}}{k}$ einen kettenschlüssig in der Paarung erhaltenen Vollcylinder,

$\frac{C^{+}}{l}$ einen durch eine Feder angedrückten Vollcylinder,

$\frac{C^{+}}{p}$ einen durch ein Elementenpaar angeschlossenen Vollcylinder.

Führt ein zur Schliessung benutztes Kettenglied einen besonderen Benennungsbuchstaben, wie a, b, c u. s. w. (siehe unten), so kann auch dieser in dem Nenner angebracht, und dadurch sofort eine deutliche Bezeichnung der Schliessungsweise bewirkt werden. Anwendungen dieser Bezeichnungsweisen werden weiter unten wiederholt vorkommen.

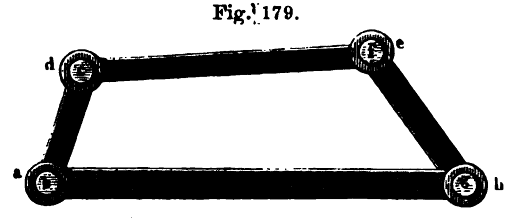
§. 58.

Schreibung einfacher kinematischer Ketten und Mechanismen.

Soll eine vollständige kinematische Kette durch die Zeichensprache wiedergegeben werden, so muss man wegen der zeilenweisen Anordnung der Zeichen auf die durchweg ausdrucksvolle Darstellung des Umstandes, dass die geschlossene Kette in sich selbst zurückläuft, verzichten, und sich mit der blossen Andeutung desselben begnügen. Die chemischen Formeln leiden übrigens an demselben Uebelstande, wenn man von einem solchen hier sprechen will, der indessen beim Lichte betrachtet, unbedeutend ist. Wir fangen beim Niederschreiben einer Kette mit irgend einem Gliede der Kette an, so dass zu Anfang der Formel ein Element aus einem Paare zu stehen kommt, und schliessen die Formel demzufolge mit dem Partner des Anfangselementes, indem wir die Schliessung der Kette durch das dem letzten Buchstaben angehängte Paarungszeichen andeuten.

Ein Beispiel wird die Sache am besten klar machen. Es sei die in Fig. 179 dargestellte, uns bekannte Kette zu schreiben. Den

Fig. 179.



Cylinderpaaren sind in der Figur die Bezeichnungen *bc*, *de*, *fg*, *ha* gegeben, die wir vorerst der Deutlichkeit wegen noch hinzufügen wollen. Mit *bc* anfangend haben wir nun zu schreiben:

$$\underbrace{C^{+} \ldots \| \ldots C^{\pm}_{=}}_{bc}\,\underbrace{C^{-} \ldots \| \ldots C^{-}_{=}}_{de}\,\underbrace{C^{+} \ldots \| \ldots C^{\pm}_{=}}_{fg}\,\underbrace{C^{-} \ldots \| \ldots C^{-}_{=}}_{ha}$$

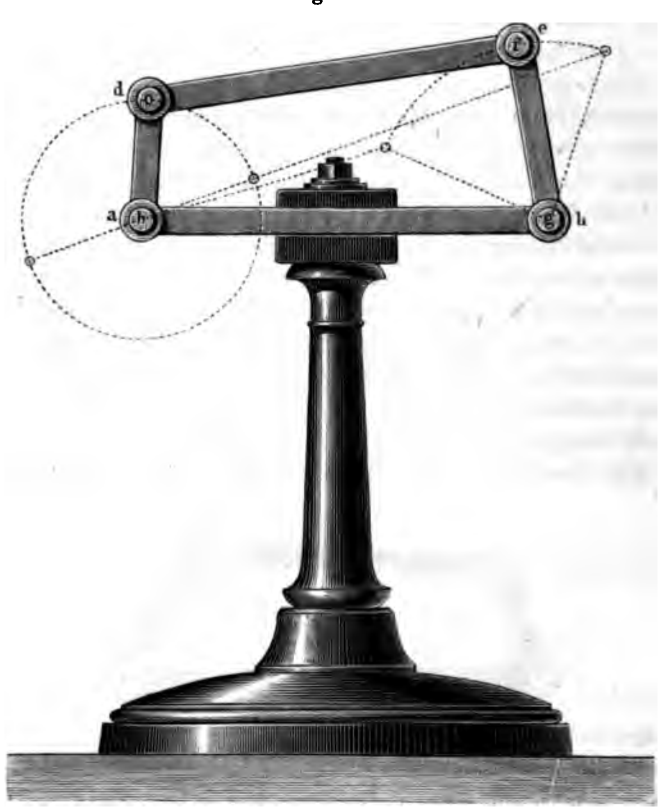
Die Glieder erscheinen bis auf die oben angehängten Formzeichen identisch. Ist die Kette so aufgestellt, wie Fig. 180 (a. f. S.) angibt, so hat die Formel bei Weglassung der besonderen Benennungen der Glieder zu lauten:

$$C^{+} \ldots \| \ldots C^{\pm}_{=} C^{-} \ldots \| \ldots C^{-}_{=} C^{+} \ldots \| \ldots C^{\pm}_{=} \underline{C^{-} \ldots \| \ldots C^{-}_{=}}$$

Auf den ersten Blick mag es befremdlich und als empfindlicher Mangel unserer Anschreibungsweise erscheinen, dass die vier Glieder in der Form sich nicht unterscheiden. Ich sage **nicht**; denn wir wissen aus §. 16, dass die Formzeichen — und + in den niederen Paaren jederzeit ohne Aenderung des Paares miteinander vertauscht werden dürfen, wonach es ein Leichtes ist, in der vor uns



Fig. 180.



stehenden Formel alle Glieder auf buchstäblich gleiche Schreibung zu bringen. Bei näherer Betrachtung aber verwandelt sich der scheinbare Mangel in einen Vorzug. Die Glieder erscheinen nämlich in der Formel deshalb gleich, **weil sie wirklich gleichen allgemeinen Inhaltes sind.** Diese klare Ueberzeugung ist nothwendig, um zur Abstraktion, zum Absehen von Zufälligem zu gelangen. Welcher empirische Mechaniker ahnt in dem Getriebe

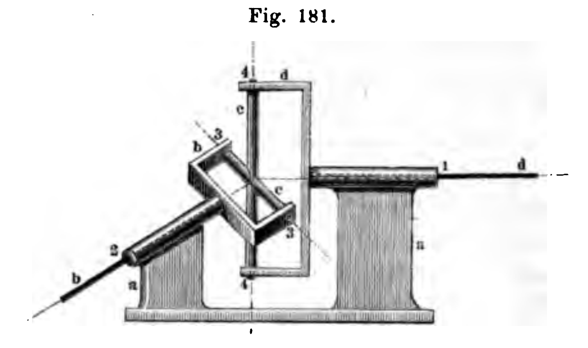
Fig. 180 den „Balancier nebst Kurbel", während doch Punkt für Punkt *fg* der Balancier-Arm, *de* die Treibstange oder Pleuelstange, *bc* die Kurbel, und *ah* das in vielfach veränderter Gestalt, aus Säulen und Gebälk, aus „Pyramiden", aus gemauertem Fundament u. s. w. gebildete Maschinengestell ist. In der Maschinenpraxis ist dieses Gestell, dieses festgehaltene Glied der Kette, dergestalt durch Aussenwerk verbrämt, so mit den Gebäudetheilen verwachsen, so vielfach zusammengesetzt, um doch immer nur ein festes Stück vorzustellen, dass es der Beobachtung seiner Einfachheit sich förmlich entzieht, ja dass viele, sehr viele Mechaniker von „Balancier und Kurbel" die Vorstellung in sich tragen, als ob dieser Mechanismus nur aus drei Theilen, Balancier, Pleuelstange, Kurbel bestehe. Ja dies geht so weit, dass man in Lehrbüchern, welche den Mechanismus schematisch, also recht abstrakt durch Zeichnung wiedergeben wollen, das vierte Glied *ah* gar nicht in die Zeichnung aufgenommen findet. Es läuft dabei offenbar die gleichsam unbewusste Vereinbarung unter, als ob das Zeichenpapier so zu sagen das Gestell für die bewegt gedachten drei genannten Theile abgebe.

Dieses Vorurtheil, oder richtiger diese Befangenheit des Urtheils aufzuheben, ist die obige Anschreibungsweise des Mechanismus vorzüglich geeignet. Man könnte indessen fragen, ob es sich nicht empfehle, in die Formel auch noch die Beziehungen zwischen den Längen der einzelnen Glieder aufzunehmen. Dies liesse sich allenfalls ausführen; allein es würde doch immerhin schwierig sein, da die vier Längen eine grosse Zahl von verschiedenen numerischen Beziehungen haben können, sodann aber würde es auch ziemlich nutzlos sein, da wenn diese Beziehungen auch eingeschrieben wären, ohne ein besonderes jedesmaliges Studium des Getriebes nichts aus ihnen gefolgert werden könnte. Wir werden übrigens unten auf eine andere Art der Verdeutlichung solcher Abmessungsverhältnisse stossen, die sich leicht und einfach anbringen lässt.

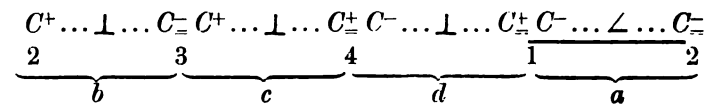
Als zweites Beispiel möge uns die Kreuzgelenkkuppelung, auch Cardanische Kuppelung oder der Hooke'sche Schlüssel genannt, dienen, wovon Fig. 181 (a. f. S.) eine schematische Darstellung gibt. Die hier zur Verwendung kommende Kette hat vier Glieder, die in der Figur mit den Buchstaben *a*, *b*, *c*, *d* bezeichnet sind. Das Glied *b* ist mit *a* mittelst eines Cylinderpaares, in der Figur mit 2 bezeichnet, gepaart. Normal zu diesem Cylinderpaar

steht ein zweites, Nr. 3, welches in der Gabel von *b* einen Hohlcylinder, in dem schräg gezeichneten Arme des Stückes *c* seinen Vollcylinder hat; das Glied *b* heisst also $C^{+} \ldots \perp \ldots C^{-}$. Dabei

Fig. 181.



ist zu merken, dass das untere Gabelende mit dem oberen ein Stück bildet, also nicht besonders zählt; dasselbe gilt von dem unteren Zapfen des schrägen Armes von *c*, indem er mit dem oberen kinematisch zu einem einzigen Elemente zusammentritt. Das Stück *c* besteht aus zwei Vollcylindern 3 und 4, deren Achsen sich rechtwinklig kreuzen, ist also zu schreiben: $C^{+} \ldots \perp \ldots C^{+}$. Das dritte Glied, die Gabel *d* nebst Achse, ist wie *b* beschaffen, also auch ebenso zu schreiben. Das vierte Glied *a* endlich besteht aus zwei zu einander geneigten Hohlcylindern 1 und 2, heisst also $C^{-} \ldots \angle \ldots C^{-}$, und ist überdies fest aufgestellt, was in der Figur durch die Form des Stückes angedeutet sein soll. Hiernach lautet die Gesammtformel, welcher nochmals die in der Figur gebrauchten Benennungen der Glieder und Paare angefügt werden mögen:

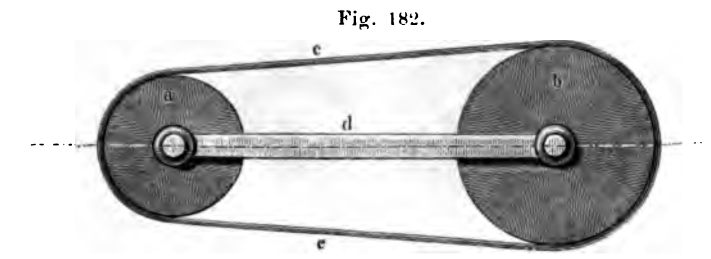


$$\underbrace{\underset{2}{C^{+}} \ldots \perp \ldots \underset{3}{C_{=}^{-}}}_{b}\;\underbrace{C^{+} \ldots \perp \ldots \underset{4}{C_{=}^{+}}}_{c}\;\underbrace{C^{-} \ldots \perp \ldots \underset{1}{C_{=}^{+}}}_{d}\;\underbrace{\overline{C^{-} \ldots \angle \ldots C_{=}^{-}}}_{a}$$

Eine gewisse geometrische Eigenschaft der Kette bezeichnet unsere Formel nicht; es ist diejenige, dass der Schnittpunkt von 3 und 4 mit demjenigen von 1 und 2, sowie von 1 und 4 zusammenfällt. Allein ohne diese Annahme würde die vorliegende Kette, deren Paare wir ja alle als geschlossen voraussetzen, nicht möglich sein. Deshalb kann für gewöhnlich die besondere Hervorhebung dieser Eigenschaft unterbleiben. Unsere Formel zeigt nun, dass die drei Glieder *b*, *c* und *d* wieder ganz gleichen Inhaltes sind. Dieser Umstand ist sehr bemerkenswerth, und wird uns später noch

in anderer Form beschäftigen, die gewöhnliche Ausführung des Kreuzgelenkes verbirgt ihn so sehr, dass er dem praktischen Mechaniker bisherigen Stils nichts weniger als bekannt ist.

Fig. 182.



Der Riementrieb, Fig. 182, den wir schon anderweitig aus unseren Gesichtspunkten kennen gelernt haben, wird wie folgt zu schreiben sein:

$$T_p^{\pm} \ldots \cong \angle \ldots T_p^{\mp}, R^{+} \ldots \mid \ldots \underline{C_{=}^{\pm}\, C^{-} \ldots \parallel \ldots C_{=}^{-}}\, C^{+} \ldots \mid \ldots R,$$

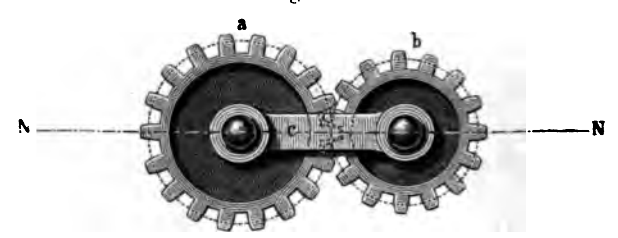
Das zur Anwendung kommende Zugkraftorgan T ist ein Riemen, und deshalb mit dem Zeiger p („prismatisch“) versehen; der Riemen wickelt sich auf jede der beiden Rollen R auf und von derselben ab, und war deshalb mit den Zeichen $\pm$ und $\mp$ versehen. Das zweite Zeichen steht umgekehrt, weil das sich auf die eine Rolle aufwickelnde Riementrum sich von der anderen Rolle abwickelt. Der Riemen für die Scheibe a ist mit demjenigen für die Scheibe b identisch, mit ihm zusammenfallend, hatte also in der Punktreihe das Zeichen $\cong$ zu empfangen; er ist endlich offen, und seine Trümer schliessen wegen der Ungleichheit der Rollen einen Winkel ein, weshalb dem Zeichen $\cong$ noch das Zeichen für geneigt, $\angle$, anzufügen war. Wäre der Riemen gekreuzt, d. i. geschränkt gewesen, so hätte man das Zeichen $\not\vdash$ anzuhängen gehabt. Die übrigen Theile der Formel sind aus dem Früheren klar. In Worte übersetzt lautet dieselbe als Ganzes: „Kinematisches Getriebe, bestehend aus zwei mit einem endlosen Riemen mit äusserer Berührung umspannten Drehkörpern von ungleicher Grösse, jeder mit einer zu seiner geometrischen Achse konaxialen Drehachse versehen, welche Drehachsen in einem ruhenden Gestelle parallel gelagert sind.“

Der einfache Stirnrädertrieb, Fig. 183 (a. f. S.), ist zu schreiben:

$$C^{+} \ldots \mid \ldots C_{z}^{+}, C_{z}^{+} \ldots \mid \ldots C \underline{{}_{=}^{\pm} C^{-} \ldots \parallel \ldots C_{=}^{-}}$$

Die beiden ersten Glieder der Formel bezeichnen die beiden Stirnräder *a* und *b* mit ihren Achsen, das letzte das festaufgestellt

Fig. 183.



gedachte Lagergestell. Der Hohlstirnrädertrieb, Fig. 184, ist zu schreiben:

$$C^{+} \ldots \mid \ldots C_{z}^{+}, C_{z}^{-} \ldots \mid \ldots C_{=}^{+} \underline{C^{-} \ldots \parallel \ldots C_{=}^{-}}$$

Fig. 184.



Das erste Glied stellt das aussenverzahnte Rad *a*, das zweite das Hohlrad *b*, das dritte wieder das Lagergestell *c* dar. Letzteres ist fest aufgestellt gedacht.

§. 59.

Abgekürzte Schreibung.

Für mancherlei Verwendungen der kinematischen Formeln kann, wenn einmal die Trennung und besondere Untersuchung der einzelnen Glieder einer Kette bereits stattgefunden hat, wenn also diese letztere bereits als bekannt angesehen wird, die Schreibung

mitunter bedeutend abgekürzt werden. Der statthaften Abkürzung sind mehrere, die wir nacheinander betrachten wollen.

Zunächst kann man für die niederen Paare und einige andere, in welchen die Partner gleiche Namenzeichen führen, oftmals mit nur **einem** Buchstab für das Paar ausreichen, wenn man diesen mit einem besonderen Kennzeichen versieht. Als solches wollen wir die **Einklammerung** benutzen, und wollen gelegentlich abgekürzt bezeichnen:

das Schraubenpaar	$S \underline{\underline{+}} S^-$	durch	(S)
„ Cylinderpaar	$C \underline{\underline{+}} C^-$	„	(C)
„ Prismenpaar	$P \underline{\underline{+}} P^-$	„	(P)
„ Stirnräderpaar	$C_{\prime}, C_{\prime}$	„	$(C_{\prime})$
„ Kegelräderpaar	$K_{\prime}, K_{\prime}$	„	$(K_{\prime})$

und so weiter. Dies gestattet uns z. B. die Kette, welche in Figur 179 dargestellt wurde, zu schreiben:

$$C^+ \ldots \| \ldots (C) \ldots \| \ldots (C) \ldots \| \ldots (C) \ldots \| \ldots C_{\underline{\underline{-}}}$$

Nur das erste und letzte Glied waren hier noch einzeln und mit ihren Formzeichen versehen zu schreiben. Der einzelne Buchstab **in der Klammer** bedeutet also ein **Paar** von Elementen. Diese Schreibweise können wir noch weiter durchführen. Sie ermöglicht uns nämlich, gewisse einfache kinematische Ketten in noch mehr zusammengezogener Form zu schreiben, indem die Klammern bei der Schreibung von Ketten es gestatten, die **Punktreihe** wegzulassen, sobald sich nur die Beziehung der aufeinanderfolgenden Paare noch übersichtlich ausdrücken lässt. Dies ist ohne Zweifel bei der obigen Formel der Fall, indem daselbst die Beziehung der gliedbildenden Elemente immer dieselbe — nämlich Parallelismus — ist. Ja wir können unter diesen Umständen die Einklammerung auf mehrere oder gar auf alle Kettenglieder ausdehnen. So können wir denn die obige Formel für gewisse Fälle, ohne undeutlich zu werden, zusammenziehen auf das Symbol (C_4''), ausgesprochen „C parallel vier“ oder „C vier parallel“, und bedeutend: „eine Kette aus vier parallelen Cylinderpaaren (also aus vier Gliedern, jedes aus zwei parallelen Cylindern bestehend) gebildet“. Eine solche konzentrirte Abkürzung setzt allerdings die vorangegangene Kenntnissnahme von der Bildung der Kette voraus, ist aber schliesslich von einer Knappheit, die nichts zu wünschen übrig lässt. Die Kette des Kreuzgelenkes, Fig. 181, um ein anderes Beispiel anzuführen, kürzt sich ab auf: $(C_3^{\perp} C^{\angle})$, gesprochen:

„C normal drei C geneigt"; die Kette für den Rädertrieb aus Fig. 184 schreibt sich hier ($C_z^+ C_2''$), sprich: „Cz plus C parallel zwei" u. s. w.

Diese konzentrirte symbolische Schreibweise eignet sich zunächst nur für die kinematische Kette, nicht für das durch Feststellung eines Gliedes gebildete Getriebe; weiter unten werden wir indessen noch Mittel finden, sie auch dafür innerhalb gewisser Grenzen geeignet zu machen.

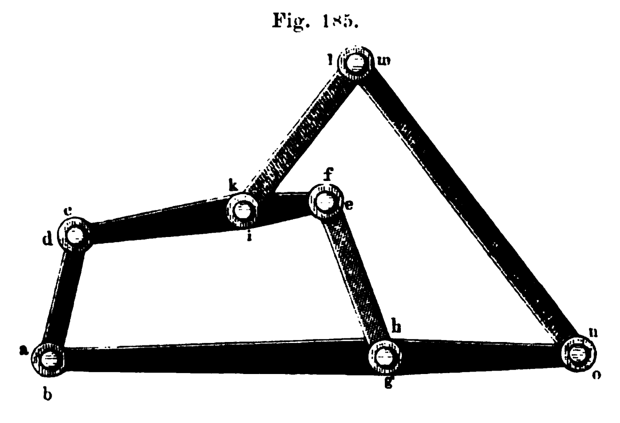
§. 60.

Schreibung zusammengesetzter Ketten.

Schon bei der einfachen kinematischen Kette, welche in der Zeichensprache wiedergegeben werden soll, zeigt sich eine gewisse Willkür hinsichtlich desjenigen Gliedes, bei welchem die Schreibung beginnen soll. Noch stärker tritt diese bei den zusammengesetzten Ketten auf, und macht es sogar einigermaassen schwierig, auf den ersten Griff die erwünschte Uebersichtlichkeit zu erzielen. Doch gelingt dies nach einiger Einübung auch hier, wie an einigen Beispielen gezeigt werden möge.

Die in Fig. 185 dargestellte, aus 7 parallelen Cylinderpaaren bestehende Kette haben wir schon früher, in §. 3, kennen gelernt.

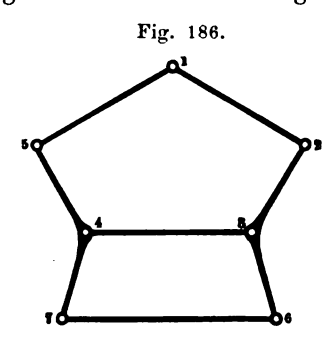
Fig. 185.



Sie ist aus der bekannten Kette (C_4'') und zwei weiteren Gliedern von der Gestalt $C\ldots \| \ldots C$ zusammengesetzt, und besitzt im Grunde genommen eine bemerkenswerthe Symmetrie der Anord-

nung, indem zwei einander gegenüberliegende dreicylindrische Glieder zweimal durch je zwei zweicylindrische Glieder, im Ganzen also durch vier derselben, verbunden sind.. Dies wird aus der folgenden schematischen Fig. 186, in welcher auch die Abmessungen symmetrisch gewählt sind, vollständig deutlich werden. Die Cylinderpaare sind hier von 1 bis 7 numerirt. Man kann die ganze Kette als aus zwei fünfgliedrigen Cylinderketten — 1, 2, 3, 4, 5 und 1, 2, 6, 7, 5 — gebildet annehmen, in welchen die Glieder 1, 2 und 1, 5 gemeinschaftlich, und die Cylinder 2, 3, 6 und 5, 4, 7 je zu einem drei Elemente enthaltenden Gliede vereinigt sind. Ein derartig aus drei Elementen gebildetes Glied kann gegenüber dem aus zwei Elementen gebildeten binären Gliede ein ternäres genannt werden.

Fig. 186.



Wir verfahren nun so, dass wir diese beiden fünfgliedrigen Cylinderketten, welche an sich nicht zwangläufig geschlossen sein würden, vorerst einzeln schreiben, und dann so zu sagen addiren, d. h. die gemeinschaftlichen Stücke bei einer zweiten Anschreibung auch nur einmal schreiben, und die ternär zusammengetretenen Elemente durch Parenthesen verbinden. Wir erhalten, indem wir die inneren Paare in der Formel schon sofort verkürzt schreiben, folgendes:

$$\begin{array}{cccccc}
1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 1 \\
C^{+}\ldots\| & \ldots(C)\ldots\| & \ldots(C)\ldots\| & \ldots(C)\ldots\| & \ldots(C)\ldots\| & \ldots C^{-}_{=} \\
C^{+}\ldots\| & \ldots(C)\ldots\| & \ldots(C)\ldots\| & \ldots(C)\ldots\| & \ldots(C)\ldots\| & \ldots C^{-}_{=} \\
1 & 2 & 6 & 7 & 5 & 1 \\
\hline
\end{array}$$

$$\begin{array}{cccccc}
1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 1 \\
C^{+}\ldots\| & \ldots(C)\ldots\| & \left\{\begin{array}{c}\ldots(C)\ldots\|\ldots(C)\ldots \\ \\ \ldots(C)\ldots\|\ldots(C)\ldots\end{array}\right\} & & \|\ldots(C)\ldots\| & \ldots C^{-}_{=} \\
 & & 6 & 7 & &
\end{array}$$

Die zusammengesetzte Formel, welche die Addition geliefert hat, und welcher der Erläuterung halber die Nummern der Cylinderpaare beigeschrieben sind, darf als eine recht übersichtliche bezeichnet werden, indem sie die Symmetrie der Anordnung der

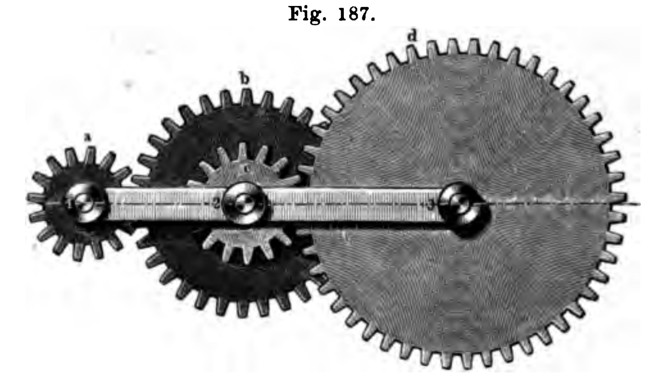
Kette deutlich wiedergibt. Indessen ist es möglich, sie in eine stellenweise brauchbare, noch weit übersichtlichere Form zu bringen. Beachtet man nämlich, dass die von den Parenthesen eingeschlossenen vier Cylinderpaare 3, 4, 6, 7 für sich eine einfache geschlossene Cylinderkette (C''_4) bilden, so bemerkt man, dass diese Kette gleichsam die Stelle eines einfachen Kettengliedes vertritt, und dass demnach die ganze Formel auch geschrieben werden kann:

$$\overset{1}{C^+}\ldots\|\ldots\overset{2}{(C)}\ldots\|\ldots\overset{3,4,7,6}{(C''_4)}\ldots\|\ldots\overset{5}{(C)}\ldots\|\ldots\overset{1}{C^-_=}$$

womit die Weitläufigkeit der Schreibung wieder völlig beseitigt ist. Steht die Aufgabe so, dass eines der Glieder 1.2, 2.3, 1.5, 5.7 im Mechanismus feststeht, so ist die Formel in der vorliegenden Gestalt auch für die Schreibung des Mechanismus brauchbar; dagegen würde man allerdings auf die obige weitläufigere Form zurückgehen müssen, wenn eines der beiden inneren Glieder aus der Gruppe 3, 4, 7, 6 als festgestellt hervorzuheben wäre.

Als weiteres Beispiel sei ein Räderwerk gewählt. Fig. 187 stellt ein aus zwei Räderpaaren *a*, *b* und *c*, *d* zusammengesetztes

Fig. 187.



Stirnräderwerk dar. Das Rad *c* ist an *b* befestigt; die drei mit den Rädern konaxialen Drehachsen sind in dem ternären Cylindergliede 1. 2. 3 gelagert. Dieses letztere Glied ist das festgestellte. Man kann die Schreibung der Formel auf verschiedene Art zweckmässig bewerkstelligen.

Vom Cylinderpaar 2 ausgehend hat man zunächst nach beiden Seiten ein einfaches Räderwerk vor sich. Wir schreiben beide einzeln und addiren wie folgt:

$$\begin{array}{cccc} 2 & b,a & 1 & 2 \\ C^{+}\ldots\,|\,\ldots C_z^{+},C_z^{+}\ldots\,|\,\ldots(C)\ldots\,\|\,\ldots C_{=}^{-} \\ C^{+}\ldots\,|\,\ldots C_z^{+},C_z^{+}\ldots\,|\,\ldots(C)\ldots\,\|\,\ldots C_{=}^{-} \\ 2 & c,d & 3 & 2 \end{array}$$

$$\begin{array}{cccc} 2 & b,a & 1 & 2 \\ C^{+}\ldots\,|\,\ldots\left\{\begin{array}{l} C_z^{+},C_z^{+}\ldots\,|\,\ldots\underline{(C)\ldots} \\ C_z^{+},C_z^{+}\ldots\,|\,\ldots\underline{(C)\ldots} \end{array}\right\}\ldots\,\|\,\ldots \underline{C_{=}^{-}} \\ 2 & c,d & 3 & 2 \end{array}$$

Es zeigen sich zwei binäre Glieder, *a*. 1 und *d*. 3, und zwei ternäre, 2. *b*. *c* und 2. 1. 3. Letztere sind die gekuppelten Räder *b* und *c* mit ihrer gemeinschaftlichen Achse und das Lagergestell, welches wie die Unterstreichung andeutet, festgestellt ist.

Eine andere Schreibung erhalten wir wie folgt. Beim Rade *a* beginnend, schreiben wir das Rad *b* mit seinem Anhang sofort als ternäres Glied, gehen zu *d* über und schreiben dessen Verbindung mit 3, und vereinigen darauf den zweiten Cylinder von 3 ebenso wie den von 2 mit demjenigen von 1. Der Deutlichkeit halber wollen wir die unverkürzte Schreibung anwenden.

$$\begin{array}{cccc} 1 & a,b & 2 & 1 \\ C^{+}\ldots\,|\,\ldots C_z^{+},C_z^{+}\ldots\left\{\begin{array}{c} \ldots\ldots\ldots\ldots\underline{C_{=}^{\pm}\,C^{-}\ldots\ldots\ldots\ldots} \\ .\,|\,\ldots C_z^{+},C_z^{+}\ldots\,|\,\ldots \underline{C_{=}^{\pm}C^{-}\ldots} \end{array}\right\}\|\,\ldots \underline{C_{=}^{\pm}} \\ & c,d & 3 & \end{array}$$

Diese Formel hat ganz dieselbe Bedeutung wie die vorige. In der Parenthese aber enthält sie, übersichtlich angeordnet, eine einfache kinematische Kette, diejenige nämlich, welche aus den Rädern *c* und *d* und deren Verbindungsstege 2.3 besteht. Schreiben wir sie verkürzt wie in §. 59 gelehrt wurde, und verkürzen auch wieder das Paar *a*, *b*, so kommt:

$$\begin{array}{cccc} 1 & a,b & c,d,3,2 & 1 \\ C^{+}\ldots\,|\,\ldots(C_z^{+})\ldots\,|\,\ldots(C_z^{+}\underline{C_2'')\ldots\,\|\,\ldots C_{=}^{-}} \end{array}$$

Noch kürzer und für einzelne Fälle völlig ausreichend lässt sich nunmehr gemäss unserer obigen konzentrirtesten Abkürzung schreiben: $(C^{+}_{z\,2}\,C_3'')$ oder bei einem *n* fachen Räderwerke: $(C_{z\,n}\,C''_{n+1})$, indem bei *n* Räderpaaren allgemein $n + 1$ Achsen oder vielmehr Cylinderpaare (C) vorhanden sind.

§. 61.

Schreibung von Ketten mit Druckkraftorganen.

Um eine Kette, welche ein Druckkraftorgan enthält, zu schreiben, ist es mitunter recht zweckmässig, sich dasselbe vorerst durch ein festes Organ ersetzt zu denken, behufs dessen Anwendung die Paarung selbstverständlich etwas zu ändern sein wird, und die Formel, welche man nun erhält, durch Wiedereinführung des Druckkraftorgans umzugestalten.

Um z. B. das früher behandelte Wasserrad, Fig. 188, durch eine kinematische Formel auszudrücken, ersetzen wir vorerst das Wasser durch eine Zahnstange mit prismatischer Führung, Fig. 189,

Fig. 188.

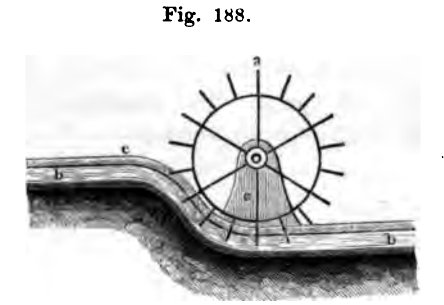
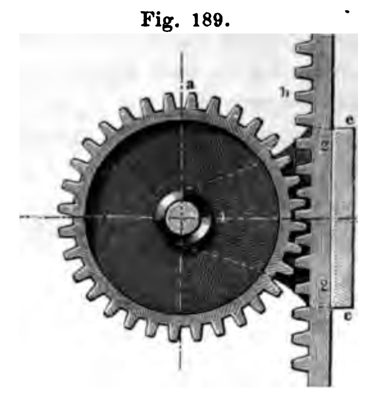


Fig. 189.



welche, wie sofort einleuchtet, bei Einwirkung der Schwere das Zahnrad *a* ebenfalls anzutreiben im Stande ist, also das Wasser vertreten könnte. Die Formel wird lauten:

$$C^{+} \ldots \mid \ldots C_{z}^{+}, P_{z} \ldots \parallel \ldots P_{=}^{\pm} P^{-} \ldots + \ldots C_{=}^{-}$$

Verwandeln wir nun das Glied $P_{z} \ldots \parallel \ldots P^{+}$ in $Q_{\lambda} \ldots\ldots\ldots Q_{\lambda}$, indem wir die Substitution des Wassers durch einen festen Körper wieder aufheben, so haben wir für P^{-} das Zeichen für Gefäss, V^{-}, zu setzen, und erhalten als Formel für das Wasserrad:

$$C^{+} \ldots \mid \ldots C_{z}^{+}, Q_{\lambda} \ldots\ldots Q_{\lambda}, \underline{V^{-} \ldots + \ldots C_{=}^{-}}.$$

Sollte noch angedeutet werden, dass das Gerinne oben offen, das Wasser also durch die Schwere kraftschlüssig mit dem Gerinne

verbunden ist, so hätte man $\frac{V^-}{f}$ statt V^- zu setzen. Das hier angeschriebene Getriebe stimmt seiner Zusammensetzung nach überein mit demjenigen des **Wurfrades**, welches etwa dazu bestimmt wäre, Wasser aus dem Untergraben die Gefällschwelle hinauf zu befördern. Stellt man die Kette auf das zweite Glied, d. h. löst man das Glied $V^- \ldots + \ldots C^-$ ab, und stellt statt seiner das Glied $Q\lambda \ldots . Q\lambda$ fest, so entsteht ein anderer, ebenfalls bekannter Mechanismus. In dem als ruhend betrachteten Wasser bewegt sich jetzt das Glied $V^- \ldots + \ldots C^-$. Das Getriebe ist dasjenige des **Ruderradbootes**. Es versteht sich, dass für diesen Fall angenommen werden muss, dass das Glied c schwimmfähig gebaut sei.

Wir wollen hier sogleich noch die abgekürzte Schreibung anzuwenden suchen. Eine gewisse Schwierigkeit bereitet uns in der ersten der beiden Formeln das Paar C_z, P_z, indem wir dasselbe, wenn immer möglich, nicht mit zwei grossen Buchstaben in die Formel bringen sollten, damit die Täuschung vermieden werde, als ob die beiden Buchstaben jeder ein Paar bedeuteten. Denn die konzentrirte Schreibung soll womöglich die Zahl der Paare, welche die Kette bilden, alsbald erkennen lassen, was am besten durch geeignete Wahl der grossen Buchstaben unter Anfügung erläuternder Zeiger erreicht wird. Wir müssen deshalb hier zu einer Uebereinkunft unsere Zuflucht nehmen. Das Paar C_z, P_z lässt sich aber, ohne dass Missverständnisse zu befürchten wären, mit dem Zeichen C_{zp} schreiben, worauf wir denn als Ausdruck für die Kette in Fig. 189 erhalten: $(C'' C_{zp} P^+)$. Hierbei ist dem Zeichen für das Prismenpaar (P) noch das Zeichen für „geschränkt“ angefügt, um die Lage des Paares recht augenfällig zu machen.

Bei der zweiten Formel stossen wir zweimal auf die Schwierigkeit der Doppelbuchstaben, können aber, entsprechend der vorigen Auskunft, setzen:

$$(C_{z\lambda}) \quad \text{für} \quad C_z, Q\lambda$$

und

$$(V_\lambda) \quad \text{für} \quad V^-, Q\lambda$$

Der Zeiger λ steht als Abkürzung für $q\lambda$, und genügt, um die Paarung von C_z, beziehungsweise V mit einer **Flüssigkeit** deutlich zu machen. Für die kinematische Kette in Fig. 188 erhalten wir hiernach die konzentrirte Formel: $(C' C_{z\lambda} V_\lambda)$, welche nach dem Obigen sowohl im Wasserrade, als im Wurfrade und im Ruderradboote zur Verwendung kommt.

§. 62.

Konzentrirte Schreibung einzelner Mechanismen.

Die eng zusammengezogene Schreibung einer ganzen kinematischen Kette liess sich nicht ohne weiteres auf den Mechanismus übertragen, da die kurze symbolische Formel nur Paare, nicht Glieder notirte, die Bezeichnung der Feststellung eines Gliedes der Kette also nicht angieng. Es ist jedoch ausserordentlich wünschenswerth, jene knappe und für viele Zwecke doch schon ausreichende verkürzte Schreibung auf den Mechanismus ausdehnen zu können.

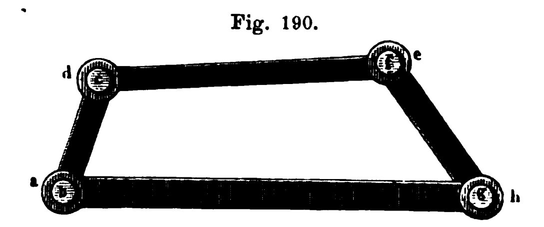
Lässt sich nun dies auch nicht mit der logischen Allgemeinheit ausführen, welche sich oben als anwendbar herausstellte, so kann man doch im besonderen Falle, bei der besonders zu studirenden Kette, zum Ziele gelangen. Dadurch nämlich, dass man den Kettengliedern bestimmte, in jedem einzelnen Falle durch Uebereinkunft auszumachende Namenzeichen gibt. Thut man dies und bringt das Zeichen des festgestellten Gliedes, als desjenigen, von welchem etwas Besonderes auszusagen ist, an schicklicher Stelle in der symbolischen Formel an, so ist die verkürzte Schreibung des Mechanismus erreicht.

Für die Gliedbezeichnung wählen wir Kleinbuchstaben des lateinischen Alphabets, in jedem Falle mit *a* beginnend und der Reihe nach fortfahrend, wonach denn die Buchstaben hier an sich keine Qualität oder Form mehr bezeichnen. Um Verwechslungen mit den Formzeichen vorzubeugen, geben wir ihnen aber einen ungewöhnlichen, auffallenden Platz, nämlich den eines Exponenten ausserhalb der das Paarungszeichen einschliessenden Parenthese. An diese Stelle kommt aber in der Regel nur ein Buchstab, da nur jedesmal das eine festgestellte Glied der Kette auszuzeichnen ist. Ein Beispiel wird das Verfahren vollends deutlich machen.

Gesetzt wir wollten diejenigen Mechanismen konzentrirt schreiben, welche aus der viercylindrigen Kette, Fig. 190, zu bilden sind, so geben wir zuerst den vier Gliedern die willkürlich gewählten, aber nach einmal getroffener Uebereinkunft festzuhaltenden Bezeichnungen *a*, *b*, *c*, *d* in derjenigen Vertheilung, wie sie in der schematischen Fig. 191 angebracht sind. Die Längen der Glieder

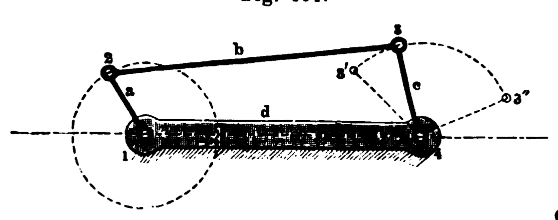
sind so gewählt, dass bei Feststellung von *d* das Glied *a* (die Kurbel) sich ganz im Kreise drehen kann, während *c* in Kreisbogen

Fig. 190.



schwingt. So lange die Kette unbefestigt ist, haben wir sie nach dem Bisherigen im verkürzten Ausdruck mit dem Zeichen (C_4'') zu

Fig. 191.



schreiben. Soll nun *d* als festgestellt bezeichnet werden, was in der Figur durch die etwas abweichende Form dieses Gliedes angedeutet ist, so hat die Formel zu lauten: $(C_4'')^d$, gesprochen: „*C* parallel vier auf *d*“. Die Partikel auf macht hierbei deutlich, dass die Kette gleichsam auf das Glied *d* gestellt, dieses als Aufstellungsbasis gebraucht ist. Würde etwa *d* abgelöst und *a* festgestellt, so hiesse das neue Getriebe $(C_4'')^a$; das Wasserrad aus §. 61 heisst nun $(C'C_z\lambda V\lambda)^c$, das Ruderradboot: $(C'C_z\lambda V\lambda)^b$, u. s. w. Wie man sieht, ist die Bezeichnungsweise kurz und ganz deutlich und ermöglicht uns die Unterscheidung der Symbole solcher Mechanismen, welche aus einer und derselben Kette gebildet sind. Sie hat allerdings die innere Beschränkung, dass hier die Buchstaben *a*, *b*, *c* und *d* keine ganz allgemeine qualitative Bedeutung mehr haben. Ihre Bedeutung ist eine mehr zufällige, zu vergleichen mit derjenigen der Eigennamen. Jedoch nimmt dieselbe dadurch wieder einen theilweise allgemeinen Karakter an, dass die Reihenfolge der alphabetischen Zeichen, also ihre Ordnung, nicht bedeutungslos ist. Man wird zudem mit *a* womöglich an einem auffallenden Gliede, wie z. B. oben die Kurbel eines ist, beginnen, und dadurch auch die Memorirung der getroffenen Uebereinkunft erleichtern.

Die Anwendungen dieser verkürzten Schreibung sind äusserst fruchtreich, wie die Folge zeigen wird.

Endlich erlaubt die gewählte Bezeichnungsweise, noch eine weitere, sehr nützliche Angabe in die Formel zu bringen. Es ist nämlich manchmal wichtig, dasjenige Kettenglied hervorzuheben, durch welches die treibende Kraft oder die Bewegung in das Getriebe eingeleitet wird. Denn es ist einleuchtend, dass ein grosser Unterschied zwischen zwei Getrieben besteht, wenn dem einen derselben durch das Glied *b*, dem anderen durch das Glied *a* die Bewegung zugeführt wird. Wir hatten ein auffallendes Beispiel bei dem Mechanismus des Wasserrades und des Wurfrades vor uns. Beide sind unserer bisherigen Symbolik nach mit derselben Formel $(C'' C_{z\lambda} V_\lambda)^c$ zu schreiben, obwohl sie sich der stattfindenden Bewegungsübertragung nach wesentlich unterscheiden.

Bei Lichte betrachtet stellt sich diese Formel offenbar als eine beiden Mechanismen eigene allgemeine oder unbestimmte Formel heraus, welche für jeden der beiden Fälle in eine besondere oder bestimmte Formel überzuführen wäre. Die hierfür noch fehlende Angabe können wir aber dadurch bewirken, dass wir das krafteinleitende oder treibende Glied als Bruchnenner in den Exponenten setzen. Letzterer wird dann in der allgemeinen Formel nur das Aufstellungsglied angeben, in der besonderen Formel aber sich als Quotient darstellen, dessen Zähler das Aufstellungsglied, dessen Nenner das treibende Glied angibt. Die Wahl der Quotientenform rechtfertigt sich aus der Analogie mit der Bezeichnung des Kraft- und Kettenschlusses, die in §. 57 festgesetzt wurde.

Hiernach wird denn z. B. das Getriebe $(C''_4)^d$, wenn es durch das rotirende Glied *a* (die Kurbel) umgetrieben wird, zu schreiben sein: $(C''_4)^{\frac{d}{a}}$, gesprochen: „*C* parallel vier auf *d* durch *a*", wobei man in Gedanken ergänzen mag: „gestellt auf *d*, getrieben durch *a*". Dasselbe Getriebe, wenn durch das schwingende Glied *c* betrieben, heisst in der besonderen Formel: $(C''_4)^{\frac{d}{c}}$; beiden Mechanismen gemeinsam ist nach wie vor die allgemeine Formel $(C''_4)^d$. Das obige Wasserrad ist nunmehr zu schreiben: $(C' C_{z\lambda} V_\lambda)^{\frac{c}{b}}$, das Wurfrad: $(C' C_{z\lambda} V_\lambda)^{\frac{c}{a}}$, das Ruderradboot: $(C' C_{z\lambda} V_\lambda)^{\frac{b}{a}}$. Die Nützlichkeit der Formel-Anschreibung an sich kommt bei diesen letzten Beispielen bereits in hervorragender Weise zur Geltung. Denn

durch das blosse Anschreiben ergibt sich hier einestheils die enge Zusammengehörigkeit von Maschinen, welche in der Maschinenpraxis weit auseinander stehen; anderntheils stellen sich ihre wahren Unterscheidungsmerkmale bestimmt und einfach heraus.

Die besondere Formel eines Mechanismus kommt namentlich bei der Analysirung vollständiger Maschinen, überhaupt den Anwendungen der Mechanismen zur Geltung, während bei abstrakter Darstellung der Getriebe meist die allgemeine Formel genügt. Indessen ist auch hier die besondere Formel manchmal sehr werthvoll, indem sie erkennen lässt, welche der Gliedbewegungen als die Urveränderliche anzusehen ist. Wir werden in der Folge von beiden Formeln einen vielseitigen Gebrauch machen und können nun zu der regelrechten Anwendung der kinematischen Zeichensprache übergehen.

ACHTES KAPITEL.

KINEMATISCHE ANALYSE.

§. 63.

Aufgabe der kinematischen Analyse.

Die Analysirung einer kinematischen Vorrichtung als solcher besteht in der Zerlegung derselben in diejenigen Theile, welche kinematisch als Elemente anzusehen sind, und in der Feststellung der Ordnung, in welcher dieselben zu Elementenpaaren und kinematischen Ketten zusammentreten. Alles konstruktive Beiwerk bleibt dabei ausser Betracht. Das Resultat der Zerlegung können wir vermöge der Zeichensprache, die wir uns gebildet, in übersichtlicher, das Bildungsgesetz ausdrückender Form darstellen. Wir wollen nunmehr eine Reihe solcher Untersuchungen vornehmen, theils um die Methode anwenden zu lernen, theils und namentlich aber, um über einzelne von der Maschinenwissenschaft beherrschte Gebiete ins Klare zu kommen. Dabei wird sich zeigen, dass man bisher über manche Grundbegriffe, mit denen man leicht operiren zu können glaubte, keineswegs im Reinen war. Wir werden manche der gebräuchlichen Anschauungen zu berichtigen haben; ja es wird nicht ohne Zertrümmerung oder wenigstens gänzliche Verschiebung einiger, scheinbar „für eine Welt gebauten“ Grundsätze abgehen. Zum Ersatze dafür wird es uns indessen gelingen, andere Vorstellungen von um so grösserer Bedeutung und Tragweite wirklich wissenschaftlich fest zu begründen.

§. 64.

Die sogenannten einfachen Maschinen.

Die mechanischen Vorrichtungen, welche den Namen der einfachen Maschinen oder auch mechanischen Potenzen führen, sind jedem Mechaniker bekannt. In der Mehrzahl der Lehrbücher werden sie seit Galilei, oder noch früher, mehr oder weniger als diejenigen Einrichtungen angegeben, auf welche man alle Maschinen zurückführen, nämlich als aus welchen man sie alle zusammengesetzt nachweisen könne. Volle Uebereinstimmung herrscht indessen über das wie und sogar auch über das ob nicht; namentlich ist zu bemerken, dass die höhere Auffassung der Mechanik sich von der ganzen Anschauung mehr und mehr lossagt, und dies muss billig in Erstaunen setzen. Denn wenn wirklich jene Gebilde die angegebene Bedeutung haben — und den Gegenbeweis findet man trotz der Skepsis nirgends geführt — so muss ihnen ja ein sehr hoher Werth beigelegt werden. Die höchste Wissenschaft dürfte sich nicht zu vornehm dünken, sie anzuerkennen, so schlicht und gering sie auch erscheinen mögen, während es jetzt den Anschein hat, als wollte die Ansicht die Herrschaft gewinnen, dass die „einfachen Maschinen" zwar für die elementare Mechanik gut genug, für die höhere aber werthlos seien.

Sieht man sich die Frage etwas näher an, indem man die Lehrbücher unter einander vergleicht, so entdeckt man bald aller Orten eine bedenkliche Unbestimmtheit der Auffassung auch bei solchen, welche der Sache selbst treu bleiben[43]). Gleich über die Zahl der „mechanischen Potenzen" ist man nicht recht einig. Die einen sprechen von sechs:

Hebel, Schiefebene, Keil, Rolle, Radwelle, Schraube;

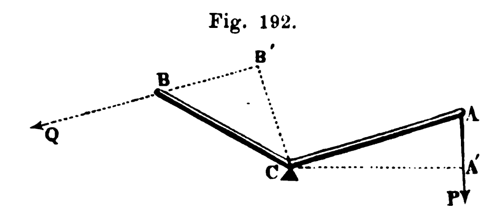
die anderen wollen unbedingt die „Seilmaschine" als siebente mitgezählt wissen. Schlimmer aber noch steht es mit der Definition des Begriffes der einfachen Maschine. Es finden sich kaum zwei Bücher, welche eine und dieselbe Definition davon geben. Auch der Platz, den man ihnen unter den Lehrsätzen anweist, ist sehr verschieden. Bald werden sie zu Anfang, bald in die Mitte, bald ans Ende gestellt, bald auf verschiedene Kapitel vertheilt; manchmal werden sie zwar abgehandelt, aber gar nicht bei dem her-

gebrachten Namen genannt, gleichsam um den Verdacht, als ob man sie anerkenne, ja nicht aufkommen zu lassen. Kurz, an eine wirklich gemeinsame Auffassung kann man nach Anstellung eines solchen Vergleichs eigentlich nicht mehr denken, da die Verschiedenheiten über das Aeusserliche hinausgehen; eher könnte man durch ihn dazu geführt werden, an der Existenz der einfachen Maschinen als solcher zu verzweifeln.

Und doch liegt ein eigenthümlicher Zug in diesen Gebilden, wenigstens in einzelnen derselben, wie z. B. dem Hebel und der Schiefebene, die ja sogar aus dem Fachgebiete in die gewöhnliche Redeweise übergegangen sind. Sie haben etwas Anheimelndes an sich; ein Gefühlinteresse, möchte man sagen, zieht zu ihnen hin. Ist dies der rein menschliche Zug der Jugenderinnerung desjenigen, der die Mechanik früh zu studiren begann, oder ist es der Hauch der Jugendlichkeit der Wissenschaft selbst, der aus ihnen leise zu uns herweht? Oder ist nicht doch wirklich ein innerer tieferer Grund für diese Sympathie vorhanden, welche selbst der den wolkenhöchsten Problemen allein zugewandte Theoretiker im Stillen nicht läugnen wird? — Auf diese Fragen muss uns die kinematische Analysirung eine entscheidende Antwort geben; sie muss uns zeigen, ob wir diese alten Familienstücke der Mechanik wirklich aufzugeben, dann aber auch gründlich zu beseitigen haben, oder ob irgend etwas Unzerstörbares in ihnen steckt. Gehen wir deshalb zu dieser Untersuchung über.

Der Hebel. Ein stabförmiger oder auch knieförmiger Körper, der auf eine schneidenartige unbewegliche Unterlage drehbar gestützt ist, Fig. 192, zwei zu beiden Seiten der Stütze angreifenden Kräften ausgesetzt, deren Gleichgewichtsbedingung gelehrt wird, so hat sich seit Archimedes' Zeiten dieses Problem erhalten. — In den meisten Fällen ist die Beschreibung nicht genau. Es wird zwar angenommen, aber nicht deutlich gesagt, dass die Stützung so eingerichtet sei, dass die Hebelarme nur ebene Bewegungen auszuführen vermöchten; es bleibt unausgesprochen, dass in dem Falle, wo die Kräfte vermöge ihrer Richtung den Hebel von der Schneide abheben könnten, dies nicht geschehe, mit anderen Worten, dass die Einrichtung

Fig. 192.



der Stützvorkehrung diesem vorbeuge. Also eine für einen wichtigen Fundamentalsatz gewiss auffallende Unvollständigkeit in der Beschreibung der Voraussetzungen. Ergänzen wir aber diesen Mangel, so haben wir den Körpern Hebel und Stütze eine Einrichtung zu geben, vermöge deren sie sich zwangläufig gegeneinander so bewegen, dass der eine gegen den anderen nur Kreise beschreibt, was aber keine andere Einrichtung ist, als diejenige des Drehkörperpaares $R \overset{+}{=} R^-$, oder auch (nach §. 57) des Cylinderpaares $C \overset{+}{=} C^-$. Die Vorrichtung wird dann also nach Feststellung des einen der beiden Elemente heissen:

$$\underline{R} \overset{-}{=} R^+ \text{ oder } \underline{R} \overset{+}{=} R^-$$

oder auch:

$$\underline{C} \overset{-}{=} C^+ \text{ oder } \underline{C} \overset{+}{=} C^-$$

und die „Gesetze des Hebels“ sind in ganzer Ausdehnung nichts anderes, als die Gleichgewichtsbedingungen der Kräfte am Drehkörperpaar. Die gebräuchliche Darstellung des Paares ist aber diejenige eines unselbständigen, insbesondere kraftschlüssigen Drehkörperpaares, etwa nach Fig. 193, zu schreiben: $\frac{\underline{C} \overset{-}{=} C^+}{f}$.

Fig. 193.

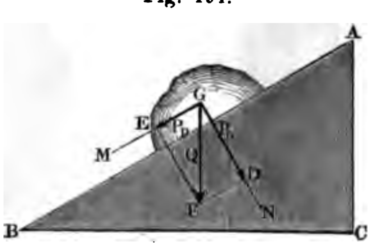


Fig. 194.

Die Schiefebene. Eine gegen den Horizont geneigte Fläche, auf welcher ein durch die Schwere getriebener Körper, welcher die Fläche mit einem ebenen Abschnitt berührt, abwärts zu gleiten sucht, Fig. 194; es wird gelehrt, mit welcher Kraft dies geschieht. — Auch hier lässt die Beschreibung mehreres zu wünschen übrig. Es wird in der Regel unausgeführt gelassen, dass der Körper nur parallel der Einfallrichtung der Ebene gleiten kann, d. h. körperlich dem entsprechend gestützt gedacht wird, auch dass er sich vermöge geeigneter ähnlicher Einrichtung nicht von der Ebene entfernen kann. Mit anderen Worten wird im

Stillen vorausgesetzt, dass der Körper mit seiner Unterlage für geradlinige Bewegung gepaart ist, und zwar ist das in Gedanken als vorhanden betrachtete Paar ein Prismenpaar, geschrieben bei Feststellung des einen Elementes:

$$\underline{P}^{+}_{=}P^{-} \text{ oder } \underline{P}^{-}_{=}P^{+}.$$

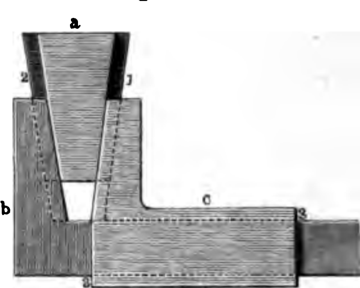
Das vollständige „Gesetz der Schiefebene“ gibt die Gleichgewichtsbedingungen der am Prismenpaar angreifenden Kräfte an. In der herkömmlichen Darstellung aber haben wir ein unselbständiges, kraftschlüssiges Prismenpaar, zu schreiben $\frac{P^{-}_{=}P^{+}}{f}$, vor uns.

Der Keil. Diese Vorrichtung wird mit Vorliebe in einer urwüchsigen, an die Strenge der Maschinenbewegungen am wenigsten erinnernden Weise dargestellt, nämlich als Mittel, einen derben Baumstamm zu spalten, Fig. 195. Es wird an dieser ländlich heiteren Vorrichtung das Verhältniss der eintreibenden zu den beiden widerstehenden Kräften an den Keilflanken kennen gelehrt. — Vervollständigen wir die Beschreibung, welche in der Regel fast

Fig. 195.



Fig. 196.



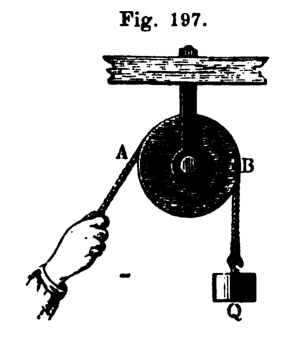
aller Schärfe entbehrt so weit, dass wir einen machinalen Vorgang in ihr ermöglicht sehen, so haben wir in Kürze zu sagen, dass die beiden Keilflächen mit den beiden Gegenflächen prismatisch gepaart gedacht werden, wonach aber die beiden Baumstammhälften als getrennte, sich gegenseitig geradlinig bewegende Körper, somit ebenfalls als prismatisch gepaart zu denken sind. Das Ganze stellt mithin einen Mechanismus vor, welcher aus einer dreigliedrigen Prismenkette, Fig. 196, gebildet zu denken ist, geschrieben bei der Reihenfolge a, b, c:

$$P^{+}\ldots\angle\ldots P^{+}_{=}P^{-}\ldots\angle\ldots P^{-}_{=}\underline{P^{+}\ldots\angle\ldots P^{-}_{=}}$$

Das „Gesetz des Keiles“ gibt, wenn genügend allgemein aufgestellt, die *Gleichgewichtsbedingungen der Kräfte an dieser Kette.* Die hergebrachte Darstellung bietet eine vielfältig kraftschlüssige Körperverbindung, welche sich der eigentlich gemeinten nur annähert.

Die Rolle. Eine auf einem feststehenden Zapfen drehbar gelagerte, an ihrem Umfang ausgekehlte Scheibe, über welche ein an beiden Enden belastetes Seil geht, Fig. 197; gelehrt wird das Geichgewicht der an den Seilenden und dem Zapfengestell angreifenden Kräfte. — Die Rolle nimmt eine bemerkenswerthe Stellung unter den einfachen Maschinen ein. Zunächst sind es wiederum nicht zwei, sondern drei Körper, welche zur Maschine zusammengefügt sind. Unausgesprochen bleibt in der Regel die Voraussetzung, dass die Lagerung der Rolle so beschaffen sei, dass sie die letztere an Querbewegungen hindert. Bemerkenswerth ist sodann, dass ein kraftschlüssiges Element, das Seil, auftaucht, ohne dass indessen die merkwürdige Eigenschaft der einseitigen Widerstandsfähigkeit genügend hervorgehoben wird. Schreibt man die Kette kinematisch an, so kommt, wenn das Rollengestell als befestigt angenommen wird:

Fig. 197.



$$\underline{C}\overset{+}{=}C^{-}\ldots\mid\ldots R, T\ldots\left\{\begin{array}{l}\ldots\dfrac{T^{-}}{f}\\[2ex]\ldots\dfrac{T^{+}}{f}\end{array}\right.$$

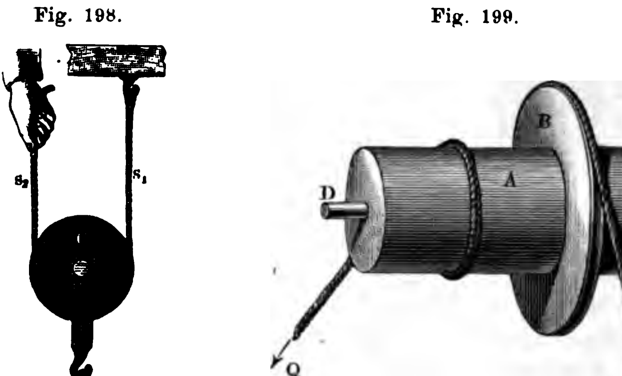
ein aus *drei Gliedern* gebildeter Mechanismus von sehr unbestimmter Bewegungsweise, welcher sich der machinalen Strenge nur in Folge des Kraftschlusses annähert.

Die übliche Betrachtung der Rolle bleibt aber hierbei nicht stehen, sondern wendet sich alsbald noch zu einer anderen Anwendung derselben, welche als Mechanismus der *losen Rollle* bekannt ist, Fig. 198 (a. f. S.), und welcher gegenüber der soeben besprochene Mechanismus die *feste Rolle* heisst. Hier ist das Rollenlager beweglich und belastet, das eine Seilende aber festgehalten, was wie folgt anzuschreiben ist:

$$\frac{C^+_= C^-_= \ldots}{f} \mid \ldots R^+, T \ldots \begin{cases} \ldots \dfrac{T^-}{f} \\ \underline{\ldots T^+} \end{cases}$$

Die Formel unterscheidet sich von der vorigen nur dadurch, dass ein anderes Glied der Kette zum festgestellten gemacht ist. Wir finden also hier die älteren Mechaniker damit beschäftigt, die Umkehrung einer kinematischen Kette auszuführen! Auch bei der losen Rolle ist der Kraftschluss in weitester Ausdehnung angewandt.

Fig. 198. Fig. 199.



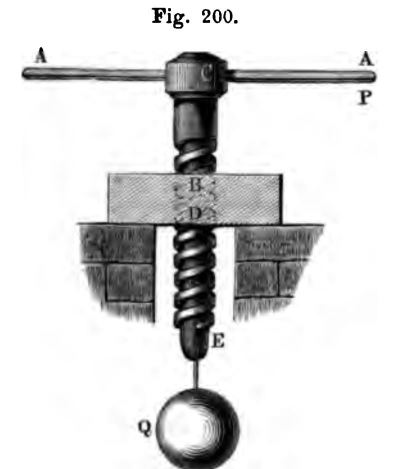
Die Radwelle. Zwei konaxial aneinander befestigte Trommeln von verschiedener Grösse, jede mit einem belasteten, an ihr befestigten Seile versehen, mit gemeinsamer Achse, welche auf einem ruhenden Gestelle gelagert ist oder oft auch nur gelagert gedacht wird, weshalb es in der Zeichnung häufig ganz fehlt, Fig. 199; man lehrt das Gleichgewicht der angreifenden Kräfte. — Eine seltsamlich unklar gehaltene Aufgabe, welche bloss durch künstlich hineingelegte, aber meist unausgesprochene Abstraktion brauchbar gemacht wird. Die Kette lautet, durch die Zeichensprache wiedergegeben, unter Zufügung des Gestelles:

$$\underline{C^-_=} C^+ \ldots \begin{cases} . \mid \ldots R^+, \dfrac{T^-}{f} \\ . \mid \ldots R^+, \dfrac{T^+}{f} \end{cases}$$

Alle Mängel der Unbestimmtheit der Voraussetzungen, die im vorigen Beispiel vorhanden waren, bestehen auch hier. Sie sind noch gesteigert durch das schraubenförmige Auf- und Abwickeln der beiden Seile, welches obendrein noch so stattfindet, dass die Seilseelen höhere Schraubenlinien beschreiben müssen, wenn nicht künstliche Nebenvorrichtungen hinzugedacht werden, oder wenn nicht durch Abstraktion auf unendlich dünne Seile die Schwierigkeit umgangen wird. Letzteres geschieht gewöhnlich. Manche lassen statt dessen im Gefühl der Unstatthaftigkeit solcher schwer begründbaren Aenderungen die Seile gleich ganz weg und ersetzen sie durch blosse Tangentialkräfte an den Trommelumfängen. Damit verwandeln sie aber das Problem wieder in das des Hebels, was nicht in der Absicht der Aufgabe liegt.

Die Schraube. Eine senkrecht aufgestellte Schraube, in einer festgestellten Mutter gelagert, und durch ein Gewicht belastet, Fig. 200; gelehrt wird das Verhältniss einer zum Drehen der Schraube aufzuwendenden, der Belastung das Gleichgewicht haltenden Kraft, welche an einem exaxialen Punkt der Schraube angreift und normal auf einen Radius gerichtet ist. — Wir erkennen alsbald, dass wir das Schraubenpaar vor uns haben; dasselbe ist bei Festhaltung eines der beiden Elemente zu schreiben:

Fig. 200.



$$\underline{S}^{-}_{=}\, S^{+} \text{ oder } \underline{S}^{\pm}_{=}\, S^{-}.$$

Das „Gesetz der Schraube" ist eine sehr beschränkte, ja unvollständige Angabe der Gleichgewichtsbedingungen für die am Schraubenpaar angreifenden Kräfte.

Die Seilmaschine. Diese endlich ist ein Problem, welches — abgesehen von seinem bei geeigneter Abstraktion eintretenden hohen Werthe für die reine Mechanik — wegen der weitgehenden Kraftschlüssigkeit und Beweglichkeit dem machinalen Begriffe schon sehr ferne steht, so dass wir diese angebliche einfache Maschine, welche ohnedies nicht das volle Bürgerrecht unter den übrigen geniesst, hier ausser Betracht lassen dürfen.

Das Gesammtresultat unserer Untersuchungen ist ein sehr merkwürdiges. Wir finden in den einfachen Maschinen, welche doch in der kinematischen Beziehung am allerersten eine harmonische Verwandtschaft zeigen müssten, ein sonderbares Gemisch kinematischer Probleme: ungeschlossene und geschlossene Paare, missverständlich für Paare gehaltene Ketten, meistens kraftschlüssige Vorrichtungen, darunter die so schwierig zu behandelnden Zugkraftorgane, eingefügt auch einen Versuch der Umkehrung eines Getriebes. Leider mussten wir in der Behandlung meistens eine auffallende Ungenauigkeit in der Stellung der Aufgabe konstatiren, welche nicht geeignet sein kann, dem Anfänger klare Begriffe beizubringen. Als Erklärung für alle diese Sonderbarkeiten bietet sich uns die Art des Entwicklungsganges der Ideen, die wir in der Entwicklungsgeschichte der Maschine im allgemeinen oben herausfanden: das Geborenwerden der Maschine aus der kraftschlüssigen Aneinanderreihung beweglicher und ruhender Körper. Die Entwicklungsgeschichte der Maschine spiegelt sich in den einfachen Maschinen als dem ersten Versuch, das Vorhandene wissenschaftlich zu ordnen, wieder; dieselbe Ideenfolge, die in der Summe der Erscheinungen stattgefunden, wiederholt sich in verkleinertem Maasstab in dem Entstehungsprozess der wissenschaftlichen Feststellung dessen, was empirisch entstanden war.

Abgesehen hiervon können wir uns jetzt die andere Frage vorlegen, ob denn nach Herstellung der erforderlichen Strenge in der Auffassung und Definition die „mechanischen Potenzen" die Eigenschaft haben, als elementare Theile aller Maschinen angesehen werden zu können. Die Antwort lautet ganz entschieden verneinend.

Zwar enthalten drei der einfachen Maschinen nach Herausschälung aus dem Nebenwerk die drei niederen Paare (R), (P) und (S), und noch das höhere Paar R, T; aber es fehlen doch alle übrigen höheren Paare, und auch gegenüber den Zugkraftorganen die Druckkraftorgane, von den Federn nicht zu sprechen. Wie darf man angesichts der Dampfmaschinen und Pumpen, dieser Triumpfe der Druckkraftorgane, behaupten, dass alle Maschinen auf die hergebrachten einfachen Maschinen zurückführbar seien! Es scheint kaum begreiflich, wie so etwas immer noch gesagt werden kann. Man könnte sich so weit zurückziehen, dass man sagte, alle statischen Probleme der Maschinen seien in den einfachen Maschinen enthalten, und in diesem Punkte liege ihre Bedeutung und der Grund ihrer Zusammenstellung. Aber auch dies ist nicht

richtig. Das Hebelgesetz lehrt nicht das Kräfteverhältniss im höheren Cylinderpaar; dafür müsste vorerst auf unendlich kleine Bewegungen zurückgegangen werden. Es lehrt gar nicht das Kraftverhältniss im hyperboloidischen Körperpaar; die einfachen Maschinen lehren nicht die Probleme für Vielheiten von Kräften, welche so häufig in den Maschinen vorkommen; sie lehren an sich nichts von den Kräftepaaren; sie lassen die Verwendung der Flüssigkeiten zur Kraftwirkung in der Maschine ganz ausser Betracht, obwohl sie auf die Zugkraftorgane, welche die Gegenstücke jener sind, mehrfach eingehen. Kurz die Behauptung von der Zurückführbarkeit aller Maschinen auf die „einfachen" zeigt sich in keiner Weise gerechtfertigt.

Hieraus können wir sehr wohl die zunehmende Scheu der Lehrbücher erklären, die historisch so fest eingewurzelten einfachen Maschinen anzuerkennen, und erscheint auch die Zurückweisung, die sie seitens der höheren Mechanik erfahren, begründet — — — und dennoch ist etwas anderes aus unseren Untersuchungen hervorgegangen, was die Anhänglichkeit an die alten, so viel gepflegten Probleme erklärt: dies ist vor allem der eine Umstand, dass drei derselben, der Hebel, die Schiefebene und die Schraube, Elementenpaare darstellen, und sodann der andere, dass ein schüchterner Schritt zu der freien und erschöpfenden Behandlung einer kinematischen Kette, bei der Rolle nämlich darin vorkommt.

Es war mithin in erster Linie der dunkle Drang, die Maschinenbewegungen auf solche an Körperpaaren zurückzuführen, was auf die „einfachen Maschinen" geführt hat. Man hatte mit ihrer Aufstellung thatsächlich einige tastende Schritte in der zum Ziele führenden Richtung gethan. Dies war es auch, was den Hebel, die Schiefebene und die Schraube, welche wir aprioristisch als die einzigen Umschlusspaare nachweisen konnten (§. 15), so fest hat einwurzeln lassen. Anziehend und verwunderlich wirkte die leise Spur des Gesetzes der kinematischen Kette aus dem Rollenproblem heraus. Soweit also müssen wir die ehrwürdigen Probleme sogar rechtfertigen. Dass aber im allgemeinen dieses ganze Gebiet der niederen Mechanik in den Lehrbüchern und im Unterricht, auch demjenigen der Physik, wo die „einfachen Maschinen" nicht wenig fest eingesessen sind, einer eingehenden Revision bedarf, muss nach meiner Ueberzeugung zweifellos aus der angestellten Kritik gefolgert werden.

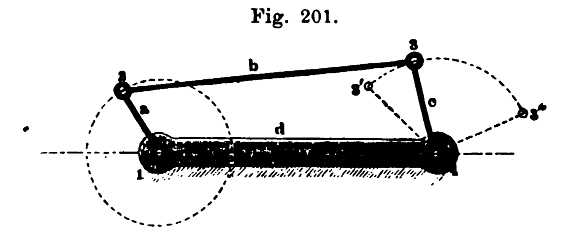
§. 65.

Das cylindrische Kurbelviereck (C_4'').

Die aus vier parallelen Cylinderpaaren gebildete kinematische Kette (C_4''), die uns schon wiederholt beschäftigt hat, ist eine der wichtigsten, welche der praktische Maschinenbau besitzt. Der Analysirung derselben wollen wir uns jetzt zuwenden. Ihre ganz vollständige Behandlung ist indessen Sache der angewandten, nicht der theoretischen Kinematik; unsere jetzige Aufgabe ist nicht die erschöpfende Behandlung, sondern nur die Untersuchung, in welchen verschiedenen Formen die Kette zum Mechanismus wird. Die sich hierbei darbietende Mannigfaltigkeit ist sehr gross.

Wir heben zunächst die in §. 62 besprochene besondere Art der Kette heraus, Fig. 201, bei welcher die vier Glieder so bemessen waren, dass bei Festhaltung von *d* sich *a* im Kreise drehen

Fig. 201.



kann, während *c* in Kreisbogen schwingt. Dies gelingt immer, wenn (unter der Voraussetzung, dass die Buchstaben *a*, *b*, *c* und *d* auch die Längen der genannten Glieder, gemessen zwischen den Zapfenmitteln, bezeichnen):

$$a + b + c > d \qquad a + d + c > b,$$

welche Bedingungen diejenigen für das Bestehen des Vierecks 1, 2, 3, 4 sind, und wenn ausserdem: $a \leqq c$.

Wegen des Parallelismus der vier Cylinderpaare sind alle Polbahnen ebene Figuren, alle Axoide Cylinder. Es kann deshalb, da das rotirende Glied *a* in den Anwendungen eine Kurbel genannt wird, die Kette ein cylindrisches Kurbelviereck oder auch eine viergliedrige cylindrische Kurbelkette genannt werden. Die Mechanismen, welche durch die Feststellung der einzelnen Glieder entstehen, heissen dann (viergliedrige) cylin-

drische **Kurbelgetriebe**. Die Bezeichnungen bedürfen des Beiwortes **cylindrisch**, weil wir später noch andere Kurbelgetriebe kennen lernen werden. Der Getriebe sind hier zunächst vier, nach der konzentrirten Schreibweise aus §. 62 zu schreiben: $(C_4'')^d$, $(C_4'')^b$, $(C_4'')^a$, $(C_4'')^c$. Sie sollen nach einander kurz betrachtet werden.

Das Getriebe $(C_4'')^d$. Dieser Mechanismus ist uns schon wiederholt begegnet, so dass wir schon ziemlich mit ihm vertraut sind. Seine Glieder haben so deutlich unterscheidbare Funktionen, dass wir ihre bisher nur zufällig und nebenher gebrauchten Benennungen zu bestimmtern erheben können, was die anzustellenden Betrachtungen wesentlich abkürzen wird. Es heisse im vorliegenden Getriebe:

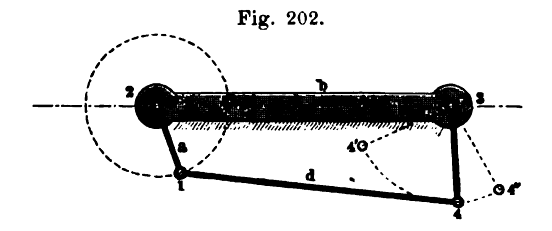
a die Kurbel, *c* die Schwinge,
b die Koppel, *d* der Steg.

Diese Namen, deren nähere Begründung wohl nicht nöthig ist, da sie sich aus Früherem ergibt, werden wir unter geeigneten Nebenbezeichnungen auch noch bei andern Kurbelgetrieben verwerthen können.

Im vorliegenden Getriebe, Fig. 201, schiebt bei ihren Drehungen die Kurbel *a* mittelst der Koppel *b* die Schwinge *c* in Kreisbogen hin und her; wir können deshalb den Mechanismus eine rotirende Bogenschubkurbel nennen.

Das Getriebe $(C_4'')^b$. Kehren wir das Getriebe nunmehr auf *b* um, oder „stellen" es auf *b*, d. h. stellen wir nach Ablösung des Steges *d* die bisherige Koppel *b* fest, Fig. 202, so erhalten wir

Fig. 202.

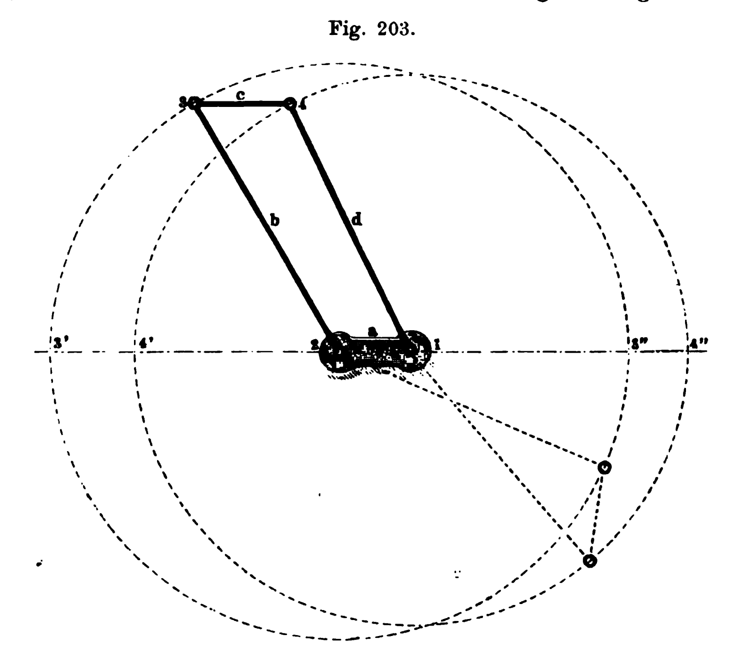


ein Getriebe, in welchem *a* abermals rotirt, jetzt aber um die Achse 2 statt um 1, und bei welchem *c* wiederum schwingt, nun aber um die Achse 3 statt um 4; der Steg *d* ist in eine Koppel übergegangen, und die ehemalige Koppel zum Stege geworden. Das Ganze ist also ebenfalls eine rotirende Bogenschubkurbel, welche sich nur in den Dimensionsverhältnissen der Koppel und des Steges von dem obigen unterscheidet. Der Art nach

sind die beiden Getriebe nicht verschieden, so dass wir haben: $(C_4'')^d = (C_4'')^b$.

Das Getriebe $(C_4'')^a$. Wird das Glied *a* zum Stege gemacht, Fig. 203, so entsteht ein von den beiden vorigen völlig verschie-

Fig. 203.

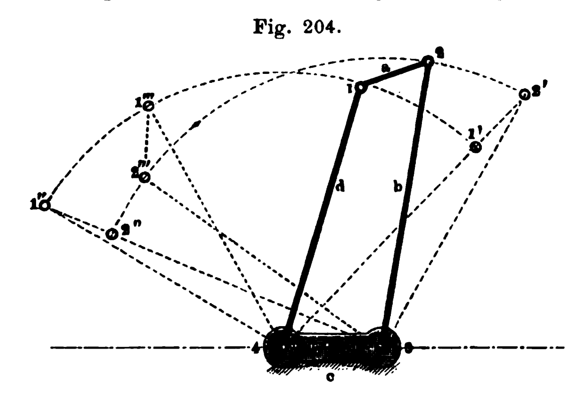


denes Getriebe, welches wir übrigens in §. 9 bereits vorläufig untersucht haben. Die Glieder *b* und *d* rotiren um die Achsen 2 und 1, werden also beide zu Kurbeln, *c* dagegen dient als Koppel. Die Praxis kennt dieses Getriebe unter dem Namen Kniekuppelung; wir wollen dasselbe rotirende Doppelkurbel nennen. Die Rotationen der beiden Kurbeln gehen mit veränderlichem Geschwindigkeitsverhältniss vor sich, was wir oben durch die reduzirten Polbahnen Fig. 25 in einer übersichtlichen Form versinnlichten.

Die Getriebe $(C_4'')^c$. Bei dieser vierten Feststellung schwingen die Glieder *b* und *d* um die Achsen 3 und 4 hin und her; *c* ist zum Stege, *a* zur Koppel geworden. In der punktirten Lage 4 1′ 2′ 3 befindet sich *b* nach rechts ausgeschoben, *d* wird aber, wenn nun *b* zurückgeht, noch etwas nach rechts, und dann ebenfalls zurück nach links schwingen, um bei 1″ in die äusserste Stellung zur Linken zu gelangen. Wenn *d* von da zurückschwingt,

geht nun seinerseits *b* noch etwas nach links, und kehrt dann nach rechts zurück. In der Zwischenstellung 4 1‴ 2‴ 3 zeigen sich die Glieder *b* und *d* gekreuzt. Wir können dieses Getriebe, welches in der Maschinenpraxis bei Geradführungen mannigfach angewandt

Fig. 204.



ist, dabei aber nicht bis zu den Grenzen seines Spiels gebraucht wird, eine schwingende oder oscillirende Doppelkurbel nennen. Dadurch stellen wir es in den richtigen Gegensatz zu dem Getriebe $(C_4'')^a$, bei welchem dieselben Arme *b* und *d* rotiren statt zu oscilliren.

Hiermit haben wir die Feststellungen der gegebenen Kette erschöpft, und drei von den gefundenen vier Mechanismen als verschiedenen Gattungen angehörig gefunden. Die drei verschiedenen Bewegungsweisen derselben sind, wie wir wissen, nichts anderes als die Relativbewegungen der Kettenglieder, von welchen wir je nach der Feststellung diejenigen gegen das vierte (*d*), zweite (*b*), erste (*a*) oder dritte (*c*) zur absoluten, oder strenger gesprochen: für uns absoluten Bewegung gemacht haben (vergleiche §. 3). Am meisten angewandt von den vier gefundenen Getrieben ist $(C_4'')^d = (C_4'')^b$, oder, indem wir die beiden Formeln in eine zusammenziehen: $(C_4'')^{d=b}$.

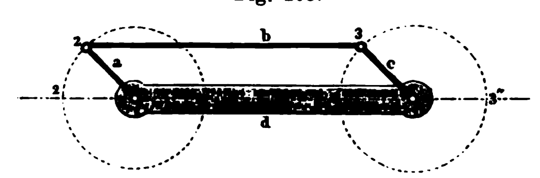
§. 66.

Die Parallelkurbeln.

Es ist einleuchtend, dass bei Abänderungen der Längenverhältnisse der Glieder in der Kette (C_4'') die aus derselben erhaltbaren Getriebe sich ändern können, und zwar auch der Bewegungs-

gattung nach, indem schwingende Relativbewegungen durch Ausdehnung des Oscillationswinkels in rotirende überführbar sind und umgekehrt. Bei solchen Abänderungen entstehen besondere Fälle, von denen wir die wichtigsten betrachten wollen. Führt man zunächst das Verhältniss der Längen von a und c, welche wir vorhin so voraussetzten, dass immer $a < c$, bis zu der Grenze, wo der Unterschied verschwindet, setzen also $a = c$, und machen ausserdem noch $b = d$, so geht das Kurbelviereck in ein Parallelogramm über, Fig. 205. Die Schwinge c wird dabei eine Kurbel,

Fig. 205.



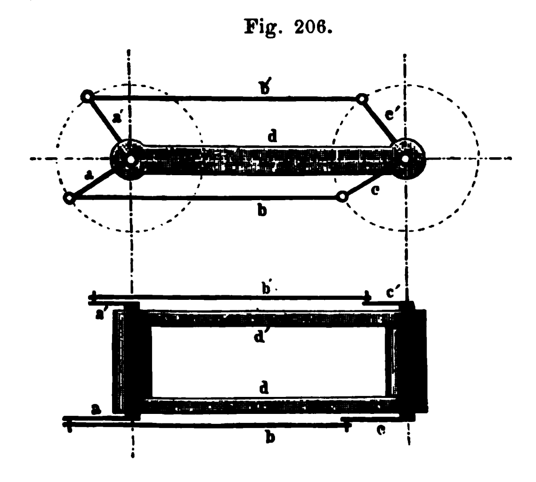
welche der Kurbel a ganz gleich ist und bei Feststellung von d dieselben Winkel durchläuft wie a. Wir schreiben die Kette, da die Glieder paarweise parallel sind, in der konzentrirten Form: $(C_2'' \| C_2'')$. Das Zeichen $\|$ genügt, und braucht nicht auf # vervollständigt zu werden, da $\|$ den Antiparallelismus, welcher nach §. 47 auch eintreten könnte, ausschliesst. Das Gleichheitszeichen allein würde nicht genügen, zumal die paarweise Gleichheit auch so stattfinden könnte, dass $a = b$, $c = d$ aber $a < c$ oder $> c$, was ja den Bedingungen widerspricht. Das Zeichen # kann für den Fall aufgespart bleiben, wo das Parallelogramm ein Rhombus wird.

Wenn das Getriebe auf d gestellt, also d zum Stege gemacht wird, wie die Figur andeutet, so lautet seine Formel: $(C_2'' \| C_2'')^d$. Unter dieselbe hierbei erhaltene Gattung fällt aber das Getriebe, wenn die Kette statt auf d, auf b oder a oder c gestellt wird. Hier fallen also die sämmtlichen vier Getriebe, welche die Kette zu liefern vermag, gleichartig aus. Wir nennen sie Parallelkurbeln.

In den Todtlagen 2′ 1 3′ 4 und 1 2″ 4 3″ ist, wie in §. 46 bereits besprochen wurde, die Kette nicht zwangläufig geschlossen. Soll sie also so gebraucht werden, dass die Punkte 2′ und 2″ durchlaufen werden, so muss eine besondere Schliessung stattfinden. Wir haben dazu oben eine wiederholte Anwendung derselben Kette geeignet befunden, und zwar in den zwei Formen, welche die Figuren 206 und 207 zeigen. Es fragt sich, wie wir diese Verbindungen kinematisch anzuschreiben haben.

Wir haben Kettenschluss vor uns. Demnach lässt sich nach §. 57 die Schliessung durch Untersetzung des Zeichens k in der Form eines Bruchnenners bezeichnen, wonach beide Ketten in der Form

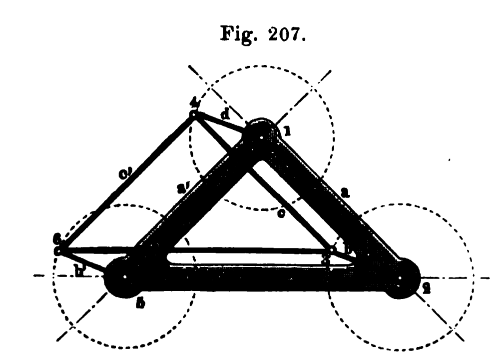
Fig. 206.



$$\frac{(C_2'' \| C_2'')}{k}$$

zu schreiben wären. Da aber hier insbesondere die schliessende Kette der zu schliessenden gleichartig ist, lässt sich durch Zufügung eines Gleichheitszeichens zu dem Nenner k und Einklammerung beider eine grössere Deutlichkeit herbeiführen. Die Formel wird dann lauten:

Fig. 207.



$$\frac{(C_2'' \| C_2'')}{(k=)},$$

in Worten: ein Paar von Parallelkurbeln geschlossen durch ein anderes Paar von Parallelkurbeln. Indessen lässt sich hiernach eine noch bequemere Schreibweise wählen, eine solche nämlich, bei welcher die Verbindung der beiden gleichartigen Ketten, die doch ohnedies reziprok wirken, durch Zufügung des Faktors 2 zu der Formel für die Parallelkurbeln deutlich gemacht wird: $2\,(C_2'' \| C_2'')$.

Nun ist endlich noch ein letzter zweifelhafter Punkt zu erledigen, derjenige nämlich des Unterschiedes zwischen den Anordnungen der Figuren 206 und 207. Im ersteren Falle sind die beiden „Kurbeln" der Schliesskette mit den Kurbeln der ersten zu schliessenden Kette zu festen Gliedern verbunden; im zweiten Falle scheint eine der Kurbeln der Schliessungskette mit einer der Hauptkette zusammenfallend, die andere für sich hergestellt, dafür

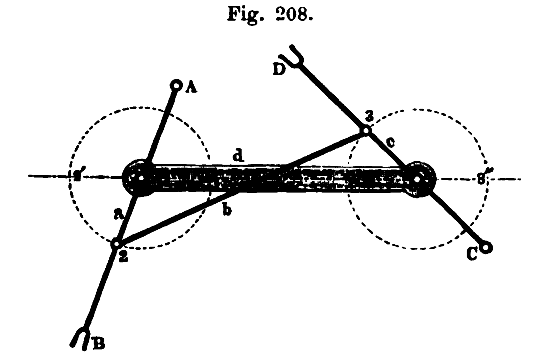
aber mit der zweiten Hauptkurbel durch eine Koppel verbunden zu sein. Vergleicht man indessen sorgfältiger und mit möglichster Abstraktion die beiden Ketten, so findet man eine bessere Deutung dessen, was eigentlich vorliegt: man findet, dass die beiden Ketten — nicht die Mechanismen oder Getriebe — identisch sind. Thatsächlich entsprechen die ternären Glieder $a\,a'$ und $c\,c'$ der Kette Fig. 206 den ternären Gliedern $a\,a'$ und $c\,c'$ in Fig. 207, und ebenso die gewöhnlichen binären Glieder d, b und b' der ersten Anordnung den ebenso benannten der zweiten. Somit ist denn, wenn, wie die Figuren andeuten, die Ketten zu Mechanismen mit den Stegen d beziehungsweise $a\,a'$ gemacht werden, der zweite Mechanismus nur eine Umkehrung des ersten, so dass wir nunmehr das Getriebe in Fig. 206 durch die Formel $2\,(C_2''\|C_2'')^d$, und das Getriebe in Fig. 207 durch die Formel $2\,(C_2''\|C_2'')^a$ klar darstellen können: sie sind beide aus derselben fünfgliedrigen Kette gebildet und zugleich Beispiele der einzigen beiden Gattungen von Getrieben, welche sich aus der Kette herstellen lassen.

§. 67.

Die Antiparallelkurbeln.

Wie wir in §. 47 gesehen haben, können wir durch Paarschliessung das Kurbelparallelogramm in ein Antiparallelogramm

Fig. 208.



verwandeln, welches durch alle seine Stellungen geführt werden kann, ohne aus der Zwangläufigkeit zu fallen. Fig. 208 und 209 stellen die beiden oben betrachteten Formen der paarschlüssigen

Kette dar. Wir nennen die aus der Kette zu bildenden Getriebe Antiparallelkurbeln. Es sind zwei Aufstellungsarten von verschiedenem Resultat möglich: die eine, bei welcher *d* oder *b* fest-

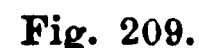
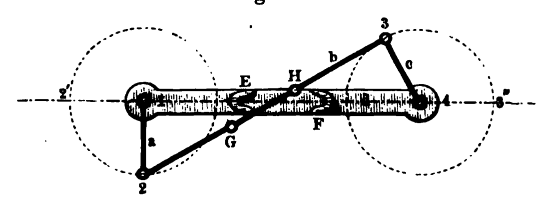
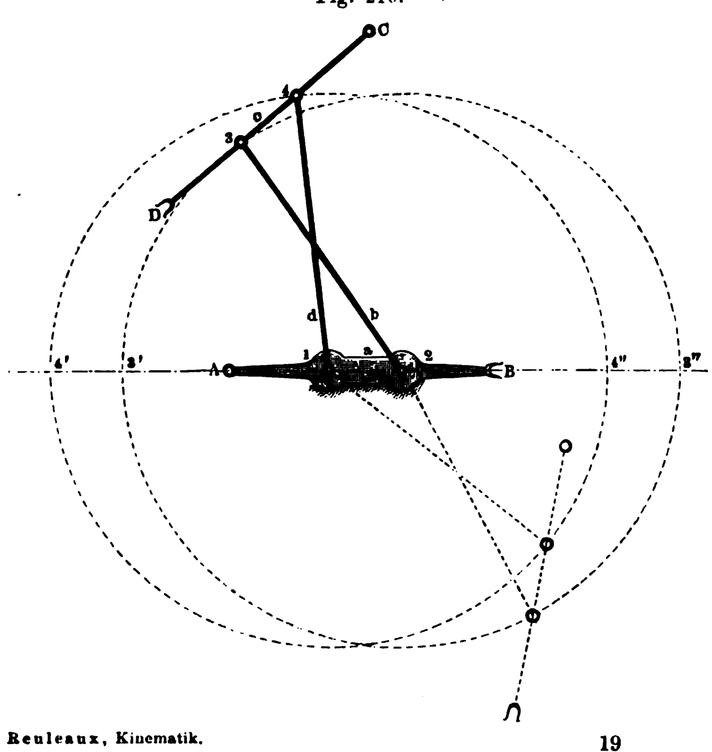


Fig. 209.



gestellt ist, die andere, bei welcher *c* oder *a* zum Stege gemacht wird. Wird *d* festgestellt, wie beide Figuren andeuten, so laufen die beiden Kurbeln *a* und *c* in entgegengesetztem Sinne um, oder sind gegenläufig, weshalb ich das Getriebe früher mit dem Namen Gegendrehungskurbeln belegte (vergl. §. 47 bei Fig. 155). Wird aber *a* festgestellt, Fig. 210, wobei *c* zur Koppel

Fig. 210.



wird, die ehemalige Koppel *b* aber ebenso wie der frühere Steg *d* in eine Kurbel übergeht, so drehen sich *b* und *d* ebenfalls ununterbrochen, laufen aber dabei in gleichem Sinne um, sind gleichläufig. Das Antiparallelogramm liefert also bei der ersten Aufstellungsart die gegenläufigen Antiparallelkurbeln, bei der zweiten die gleichläufigen Antiparallelkurbeln. Sehr bemerkenswerth ist, dass das Drehungsgesetz in beiden Fällen dasselbe ist. Dies geht daraus hervor, dass wegen des Antiparallelismus Winkel 1, 2, 3 = 1, 4, 3. Wollte man also die schwierig überschaubaren hyperbolischen Polbahnen, welche den Gliedern *b* und *d* nach §. 47 zukommen, auf gegenläufige Polbahnen reduziren (siehe §. 9), so würde man wieder ein Paar kongruenter Ellipsen erhalten.

Die konzentrirte Schreibung der beiden gefundenen Mechanismen wird zunächst den Antiparallelismus anzugeben haben, weshalb wir das Zeichen dafür zwischen die Cylinderzeichen einschieben. Die nicht festgestellte Kette wird also zu schreiben sein $(C_2'' \geq C_2'')$. Die gegenläufigen Antiparallelkurbeln werden heissen $(C_2'' \geq C_2'')^d$ oder $(C_2'' \geq C_2'')^b$, von welchen Schreibungen wir nur eine, es sei die erste, beizubehalten brauchen, wenn wir sie nicht in die eine: $(C_2'' \geq C_2'')^{d=b}$ zusammenziehen wollen. Die gleichläufigen Antiparallelkurbeln heissen: $(C_2'' \geq C_2'')^a$, wenn wir wieder die gleichwerthige Schreibung mit den Exponenten *c* als überflüssig weglassen, oder auch $(C_2'' \geq C_2'')^{a=c}$, wenn wir die Gleichwerthigkeit von *a* und *c* ausdrücken wollen.

Noch ist die Paarschliessung anzudeuten. Diese selbst wird nur dann erforderlich sein, wenn der Mechanismus bei seinem Spiel überhaupt die Todpunkte passirt. Ist sie vorhanden, und nach der in Fig. 208 angegebenen Weise bewirkt, so lautet die Formel: $\frac{(C_2'' \geq C_2'')^d}{(p)\,a.c}$ und, wenn nach Fig. 209: $\frac{(C_2'' \geq C_2'')^d}{(p)\,b.d}$, wobei das *p* die Paarschliessung an sich bezeichnet (siehe §. 57 zu Ende), und wo die Einklammerung und Anfügung der Zeichen der gepaarten Glieder mit ausreichender Genauigkeit darstellt, was vorliegt. Vielfach wird es nicht einmal erforderlich sein, die Paarschliessung hervorzuheben, da die Erhaltung des Antiparallelismus, also die als dauernd angenommene Gültigkeit des Zeichens $\geq$ sie schon voraussetzt. Die Antiparallelkurbeln finden hie und da Anwendung, ohne erkannt worden zu sein; eine solche ist die in der Dubs'schen Kuppelung für Fairlie-Eisenbahnwagen, wo unsere Ellipsen als Profile für die Bufferbohlen dienen.

§. 68.

Das gleichschenklige Kurbelgetriebe.

Ein theoretisch sehr bemerkenswerther besonderer Fall der Kette (C_4'') wird erhalten, wenn $a = d$, $b = c$ und wie früher $a < c$

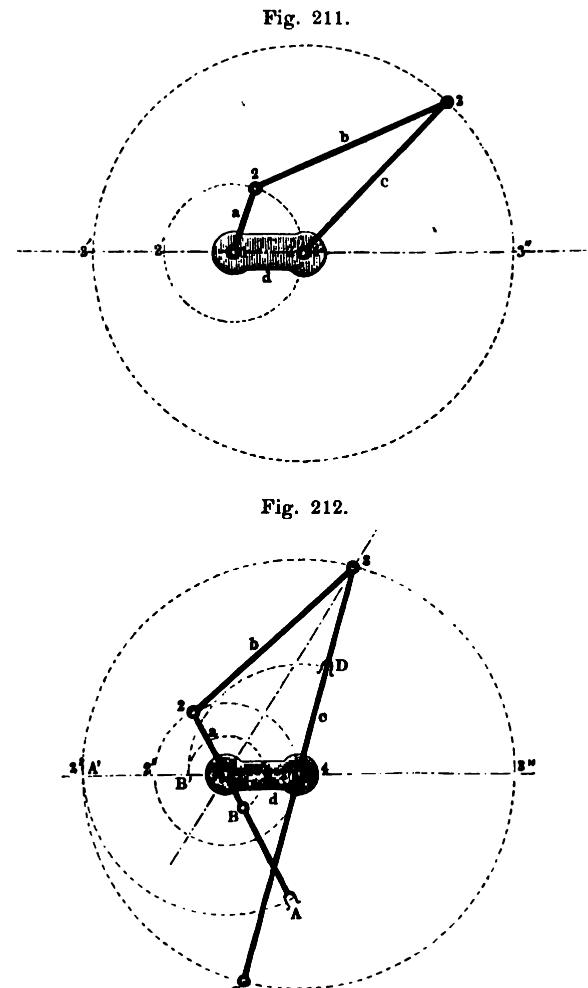


Fig. 211.

Fig. 212.

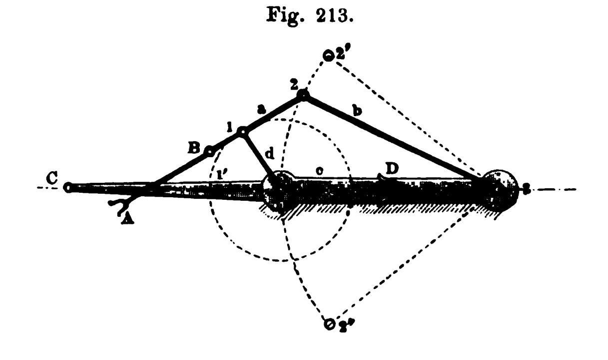
gemacht wird. Wir haben ein aus der so gestalteten Kette gebildetes Getriebe mit höherem Paarschluss in §. 47 besprochen. Fig. 211 und 212 stellen das Getriebe zuerst ohne, und dann mit

Paarschluss dar. Eine die Punkte 2 und 4 verbindende Diagonale des Vierecks 1 2 3 4 theilt dasselbe immer in zwei gleichschenklige Dreiecke. Wir wollen deshalb das Kurbelgetriebe ein **gleichschenkliges** nennen. Die Schreibung der Kette ist nach dem Vorhergegangenen leicht. Sie hat unter Benutzung des in §. 47 gewählten Zeichens für die Gleichschenkligkeit zu lauten: $(C''_2 \leqq C''_2)$. Soll die höhere Paarung, die Fig. 212 angibt, in der Formel ausgedrückt werden, so ist zu schreiben $\frac{(C''_2 \leqq C''_2)}{(p)\, a.c}$. Aehnlich wie bei den Antiparallelkurbeln könnte auch hier die höhere Paarung statt zwischen *a* und *c* zwischen *d* und *b* geschehen, was nichts Neues liefern würde: auch könnte man die Paarschliessung zu einem Theil zwischen *a* und *c* und zum andern Theil zwischen *b* und *d* bewirken.

Die Kette liefert zwei Arten von Mechanismen, die erste bei Feststellung von *d* oder *a*, die andere bei Feststellung von *c* oder *b*.

Das Getriebe in Fig. 211, wo die Feststellung von *d* angedeutet ist, hat die Formel $(C''_2 \leqq C''_2)^d$. Die Bewegungsübertragung auf *c* hat die merkwürdige Seite, dass *c* nicht bloss schwingt, sondern in Drehung versetzt wird, und zwar durchschnittlich mit der halben Winkelgeschwindigkeit der Kurbel *a*, wie in §. 47 gezeigt wurde. Bei Feststellung von *c* (oder *b*) entsteht das Getriebe, welches Fig. 213 darstellt. Bei Mitandeutung des Paarschlusses ist der

Fig. 213.



Mechanismus zu schreiben: $\frac{(C''_2 \leqq C''_2)^c}{(p)\, a.c}$. Seine Bewegung ist nicht minder eigenthümlich, als die des ersten Getriebes. Sie hat Aehnlichkeit mit derjenigen des Bogenschubkurbelgetriebes $(C''_4)^d$. Der ehemalige Steg *d* ist nämlich jetzt Kurbel, das Glied *a* Koppel

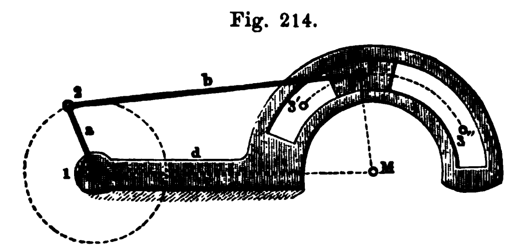
geworden, b aber oscillirt um die Achse 3 symmetrisch zu c hin und her, und zwar um einen Winkel von solcher Grösse, dass das Maximum 2′ ebenso wie das Minimum 2″ je um $2 \times a$ von 4 abliegt. Die Punkte 2′ und 2″ liegen demnach annähernd um vier Kurbellängen auseinander, während bei dem Getriebe $(C_4'')^d$ der Endpunkt 3 der Schwinge nur annähernd zwei Kurbellängen durchläuft. Wir kommen weiter unten auf diesen interessanten Fall nochmals zurück.

§. 69.

Die cylindrische Schubkurbelkette $(C_3''P^{\perp})$.

Indem wir in der Kritik der Kette (C_4'') fortfahren, wollen wir vorerst eine kleine Umgestaltung mit ihr vornehmen. Wir verwandeln die Schwinge c in einen Cylinderring-Ausschnitt, welche wir in eine kreisförmig gebogene Schleife, die mit der Zapfenhülse 1 fest verbunden ist, einschliessen, Fig. 214. Wenn wir den Mittelpunkt M der Schleife und des Sektors c ebensoweit von 1 und 3 ablegen, als oben der Mittelpunkt 4 von diesen Punkten abstand, so macht das Gleitstück c ganz dieselben Relativbewegungen, als ob es der Schwinge c angehöre. Wir können dasselbe demnach die Schwinge vertreten lassen; später wird sich noch herausstellen, dass es kinematisch mit derselben geradezu identisch ist. Die umgeformte Vorrichtung können wir nun, bei a beginnend, wie folgt schreiben:

Fig. 214.



$$C^+ \ldots \| \ldots C^{\pm}_{=} C^- \ldots \| \ldots C^-_{=} C^+ \ldots \| \ldots A^{\pm}_{=} A^- \ldots \| \ldots C^-_{=}$$

indem nach §. 57 das Zeichen A (Arcus) einen Ringausschnitt bezeichnet. Die zusammengezogene Schreibung wäre $(C_3''A'')$. Deutlicher als bei der früheren Schreibung ist hier zu erkennen, dass die Verhältnisse so gewählt sein müssen, dass das Glied c einen bogenförmigen Hin- und Herschub vollzieht, da ja sonst das Paar $A^{\pm}_{=} A^-$ nicht genügen würde.

Die Halbmesser des Bogens A können wir aber nun, ohne Schwierigkeiten in der Konstruktion zu begegnen, beliebig gross

[illegible] d und der Gleitblock c werden
[illegible] wir können den Halbmesser bis zur
[illegible] lassen. Hierbei wächst aber auch
[illegible] des Mittelpunktes 4 vom Punkte 1, d. h.
[illegible] bis zur Unendlichkeit. Wir wollen in
[illegible] dass die Glieder c und d, d. h. die Längen 3.4
[illegible] unendlich gross würden, also dass:

$$c = d = \infty$$

[illegible] die Gültigkeit unserer letzten Formel auf, wie
[illegible] Kette selbst eine andere wird, indem
[illegible] in ein Prisma P übergeht, das Paar $A^{\pm}_{=}A^{-}$
[illegible] ein Prismenpaar $P^{\pm}_{=}P^{-}$ verwandelt. Wegen der
[illegible] von c und d geht die Gerade, in welcher sich
[illegible] der Punkt 3 gegen d bewegt, in ihrer Verlän-
[illegible] durch den Punkt 1, und steht ausserdem senk-
[illegible] auf der Achse 3 wie auf der Achse 1. Wir haben
[illegible] die neue Kette, welche in nebenstehender
[illegible] dargestellt und uns übrigens schon bekannt ist,
[illegible] schreiben:

$$C^{+} \ldots \| \ldots C^{+}_{=}C^{-} \ldots \| \ldots C^{-}_{=}C^{+} \ldots \perp \ldots P^{+}_{=}P^{-} \ldots \perp \ldots C^{-}_{=}$$

oder kürzer:

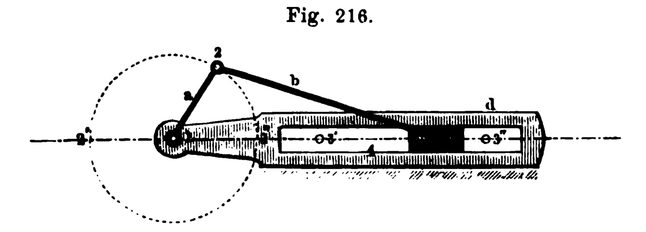
$$C^{+} \ldots \| \ldots (C) \ldots \| \ldots (C) \ldots \perp \ldots (P) \ldots \perp \ldots C^{-}_{=}$$

oder ganz zusammengezogen: $(C''_3 P^{\perp})$. Bei dieser merk-
würdigen und wichtigen Kette vollzieht das Glied c statt
eines bogenförmigen Schubes, wie in der Kette (C''_4)
einen **geradlinigen** Schub. Wir können sie deshalb
eine **cylindrische geradlinig schiebende Kur-**
[illegible] oder kürzer einfach **cylindrische Schubkurbel-**
[illegible] nennen. Ihre verschiedenen Feststellungsarten, deren vier
[illegible] nun näher betrachtet werden.

[illegible] **Getriebe** $(C''_3 P^{\perp})^d$. Stellt man, wie Fig. 216 andeutet, die
[illegible] das Glied d, so entsteht bei der Drehung der Kurbel a
[illegible] Hin- und Herschub des Gliedes c, und es liegt einer
[illegible] Mechanismen vor uns, derjenige, welcher in der
[illegible] Kurbeldampfmaschine eine so grosse Rolle spielt, bei
[illegible] Pumpen, bei Durchstossmaschinen, Prägepressen und
[illegible] anderen Maschinen Verwendung findet. Das Glied c wollen
[illegible] den **Schieber**, das Glied d gelegentlich den **Lenkstab** nennen,
[illegible] wenn es beweglich ist. Das ganze Getriebe kann wegen
[illegible] **rotirende Schubkurbel** heissen. Bei der

Anwendung auf die Kurbeldampfmaschine wirkt als treibendes Glied der Schieber *c*, wonach die allgemeine Formel $(C_3''P^{\perp})^{d}$ in die besondere $(C_3''P^{\perp})^{\frac{d}{c}}$ übergeht. In den übrigen soeben als Beispiele

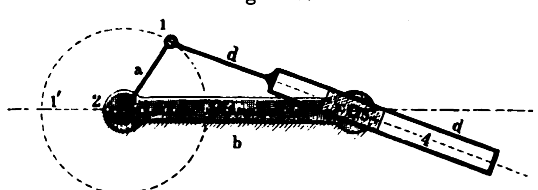
Fig. 216.



herangezogenen Maschinen treibt die Kurbel *a* den Mechanismus; die Formel heisst dort also $(C_3''P^{\perp})^{\frac{d}{a}}$. Die Koppel *b* macht verwickelte Bewegungen, welche durch die Polbahnen genauer bestimmt werden können. Letztere wollen wir einstweilen noch unerörtert lassen. So viel ist übrigens voraus zu sehen, dass dieselben zur Achse 3.1 symmetrisch ausfallen werden.

Das Getriebe $(C_3''P^{\perp})^{b}$. Die bei der Kette (C_4'') beobachtete Reihenfolge innehaltend, stellen wir nunmehr die Kette auf *b*, Figur 217 *). Die Kurbel *a* dreht sich nun um die ehemalige

Fig. 217.



Kurbelwarze 2 als Achse; der Lenkstab *d* wird durch sie vermittelst des Schiebers *c* oscillatorisch vor- und rückwärts bewegt. Wegen seiner in der Figur angegebenen Form ist das Glied *d* eine (geradlinige oder gerade) Schleife genannt worden. Hiernach wollen wir das Getriebe die schwingende oder oscillirende Kurbelschleife nennen. Es darf übrigens nicht vergessen werden, dass wegen der ohne Aenderung des Bewegungsgesetzes statt-

*) Bei der von mir gewählten Darstellung der aus $(C_3''P^{\perp})$ zu bildenden Getriebe durch Modelle wird die Kette mit dem festzustellenden Gliede in den in Fig. 11 und 180 angegebenen Schraubstock eingespannt.

wählen; die Schleife des Gliedes d und der Gleitblock c werden dabei nur flacher als jetzt. Ja wir können den Halbmesser bis zur Unendlichkeit zunehmen lassen. Hierbei wächst aber auch nothwendig der Abstand des Mittelpunktes 4 vom Punkte 1, d. h. die Länge des Gliedes d, bis zur Unendlichkeit. Wir wollen in der That annehmen, dass die Glieder c und d, d. h. die Längen 3.4 und 1.4 beide gleichzeitig unendlich gross würden, also dass:

$$c = d = \infty$$

Dann aber hört die Gültigkeit unserer letzten Formel auf, wie denn auch die kinematische Kette selbst eine andere wird, indem der Bogen A in ein Prisma P übergeht, das Paar $A_{=}^{+}A^{-}$ sich in ein Prismenpaar $P_{=}^{+}P^{-}$ verwandelt. Wegen der Gleichheit von c und d geht die Gerade, in welcher sich nunmehr der Punkt 3 gegen d bewegt, in ihrer Verlängerung durch den Punkt 1, und steht ausserdem senkrecht auf der Achse 3 wie auf der Achse 1. Wir haben demnach die neue Kette, welche in nebenstehender Figur dargestellt und uns übrigens schon bekannt ist, zu schreiben:

Fig. 215.

$$C^{+} \ldots \parallel \ldots C_{=}^{+}C^{-} \ldots \parallel \ldots C_{=}^{-}C^{+} \ldots \perp \ldots P_{=}^{+}P^{-} \ldots \perp \ldots C_{=}^{-}$$

oder kürzer:

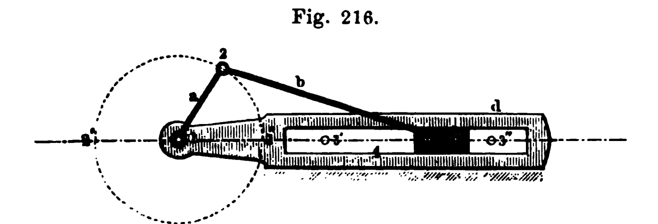
$$C^{+} \ldots \parallel \ldots (C) \ldots \parallel \ldots (C) \ldots \perp \ldots (P) \ldots \perp \ldots C_{=}^{-}$$

oder ganz zusammengezogen: $(C_{3}''P^{\perp})$. Bei dieser merkwürdigen und wichtigen Kette vollzieht das Glied c statt eines bogenförmigen Schubes, wie in der Kette (C_{4}'') einen geradlinigen Schub. Wir können sie deshalb eine cylindrische geradlinig schiebende Kurbelkette oder kürzer einfach cylindrische Schubkurbelkette nennen. Ihre verschiedenen Feststellungsarten, deren vier sind, sollen nun näher betrachtet werden.

Das Getriebe $(C_{3}''P^{\perp})^{d}$. Stellt man, wie Fig. 216 andeutet, die Kette auf das Glied d, so entsteht bei der Drehung der Kurbel a ein geradliniger Hin- und Herschub des Gliedes c, und es liegt einer der bekanntesten Mechanismen vor uns, derjenige, welcher in der gewöhnlichen Kurbeldampfmaschine eine so grosse Rolle spielt, bei so vielen Pumpen, bei Durchstossmaschinen, Prägepressen und vielen anderen Maschinen Verwendung findet. Das Glied c wollen wir den Schieber, das Glied d gelegentlich den Lenkstab nennen, namentlich, wenn es beweglich ist. Das ganze Getriebe kann wegen der Drehbewegung die rotirende Schubkurbel heissen. Bei der

Anwendung auf die Kurbeldampfmaschine wirkt als treibendes Glied der Schieber *c*, wonach die allgemeine Formel $(C_3''P^{\perp})^{d}$ in die besondere $(C_3''P^{\perp})^{\frac{d}{c}}$ übergeht. In den übrigen soeben als Beispiele

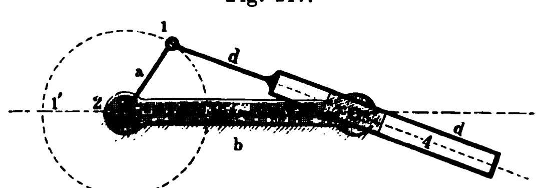
Fig. 216.



herangezogenen Maschinen treibt die Kurbel *a* den Mechanismus; die Formel heisst dort also $(C_3''P^{\perp})^{\frac{d}{a}}$. Die Koppel *b* macht verwickelte Bewegungen, welche durch die Polbahnen genauer bestimmt werden können. Letztere wollen wir einstweilen noch unerörtert lassen. So viel ist übrigens voraus zu sehen, dass dieselben zur Achse 3.1 symmetrisch ausfallen werden.

Das Getriebe $(C_3''P^{\perp})^{b}$. Die bei der Kette (C_4'') beobachtete Reihenfolge innehaltend, stellen wir nunmehr die Kette auf *b*, Figur 217 *). Die Kurbel *a* dreht sich nun um die ehemalige

Fig. 217.

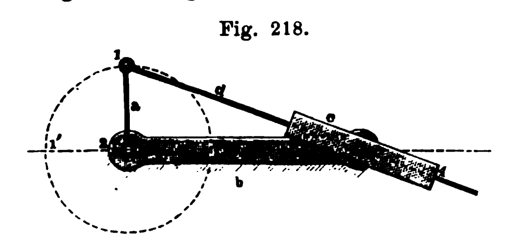


Kurbelwarze 2 als Achse; der Lenkstab *d* wird durch sie vermittelst des Schiebers *c* oscillatorisch vor- und rückwärts bewegt. Wegen seiner in der Figur angegebenen Form ist das Glied *d* eine (geradlinige oder gerade) Schleife genannt worden. Hiernach wollen wir das Getriebe die schwingende oder oscillirende Kurbelschleife nennen. Es darf übrigens nicht vergessen werden, dass wegen der ohne Aenderung des Bewegungsgesetzes statt-

*) Bei der von mir gewählten Darstellung der aus $(C_3''P^{\perp})$ zu bildenden Getriebe durch Modelle wird die Kette mit dem festzustellenden Gliede in den in Fig. 11 und 180 angegebenen Schraubstock eingespannt.

haften Umkehrbarkeit aller niederen Paare (siehe §. 16) auch die in Fig. 218 dargestellte Form für Schieber und Schleife gewählt werden kann. Der Mechanismus, zu welchem wir gelangt sind, ist ebenfalls sehr bekannt, obwohl er nicht so zahlreiche Verwendungen findet, wie $(C_3''P^{\perp})^d$. Eine bekannte Anwendung ist diejenige bei der „oscillirenden“ Dampfmaschine, an welche Fig. 218 am ersten erinnert. Hier ist der Lenkstab *d* in der Form des Dampfkolbens das treibende Glied; die Formel geht also in die besondere Form $(C_3''P^{\perp})^{\frac{b}{d}}$ über. Man hat sich verschiedentlich bemüht, den Zusammenhang der oscillirenden Dampfmaschine mit der gewöhnlichen Kurbeldampfmaschine darzuthun, indem man die Entstehung der einen aus der anderen durch Dimensionen-Aenderung zu erklären suchte. Man nahm z. B. an, dass bei Verkürzung der Pleuelstange (Koppel) auf Null die Dampfmaschine mit rotirender Schubkurbel in die oscillirende übergehe, wenn man, damit die Bewegung möglich bleibe, den Dampfcylinder um eine Achse drehbar mache. Offenbar liegt hierin viel mehr als eine Dimensions-Aenderung; der Uebergang selbst bleibt aber dennoch dunkel. Wir sehen hier, welcher ganz andere, völlig klare Zusammenhang zwischen den beiden Mechanismen besteht, dass es sich nämlich um eine Umkehrung der ihnen beiden zu Grunde liegenden kinematischen Kette handelt. Auf die Verwandtschaft zwischen den beiden Dampfmaschinen selbst können wir erst weiter unten, §. 80, näher eingehen.

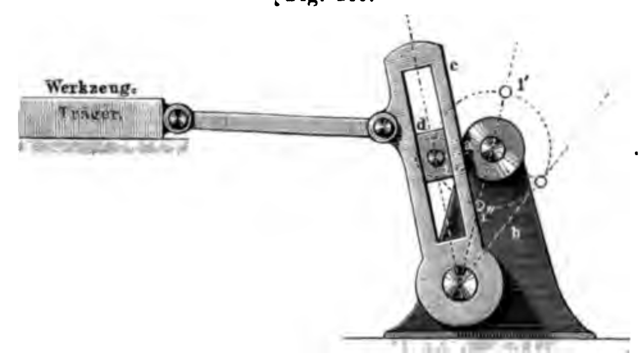
Fig. 218.



Eine andere Verwendung hat das Getriebe $(C_3''P^{\perp})^b$ in der Form $(C_3''P^{\perp})^{\frac{b}{c}}$ bei Hobel- und Stossmaschinen gefunden. Man benutzt dabei die Eigenthümlichkeit in der Bewegung des Gliedes *c*, wonach dieses von der gleichförmig umlaufenden Kurbel ungleichförmig bewegt wird. Die Kurbel *a* als treibendes Glied ertheilt ihm in der Stellung 1', wo sie sich am fernsten vom Stege oder in der Stegferne befindet, ein relatives Minimum, in der Stegnähe 1'' ein relatives Maximum von Winkelgeschwindigkeit. Bei Koppelung des Gliedes *c* mit dem Schneidwerkzeug, siehe Fig. 219, erhält man demzufolge einen durchschnittlich langsamen Vorgang

des Stichels gegenüber einem durchschnittlich schnellen **Rückgang** desselben. Mechanismen von dieser Bewegungsart werden als solche

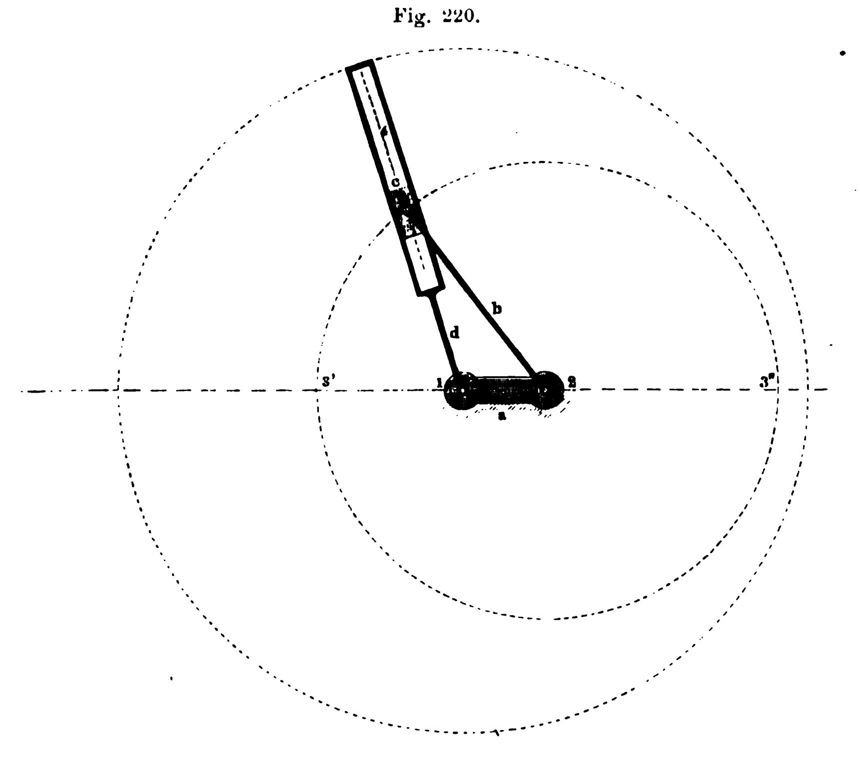
Fig. 219.



für „schnellen Rückgang“ bezeichnet. So und anderweitig ist das Getriebe $(C_3''P^{\perp})^b$ dem Maschinenpraktiker bekannt und geläufig.

Das Getriebe $(C_3''P^{\perp})^a$. Ein dritter Mechanismus wird durch Stellung der Kette auf *a* erzielt, Fig. 220. Jetzt macht die bis-

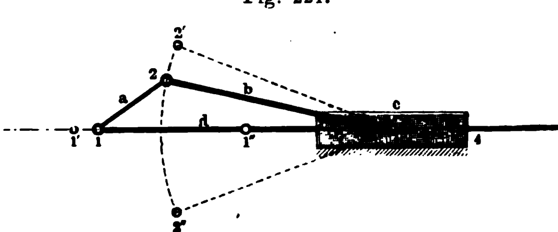
Fig. 220.



herige Koppel *b* Rotationen um die Achse 2, ist also, da sie aus zwei parallelen Cylindern wie die Kurbel besteht, in eine solche übergegangen; die Kurbel *a* dagegen ist zum Steg geworden. Der Lenkstab *d*, vom Schieber *c* gefasst, beschreibt vollständige Drehungen um die Achse 1. Diese gehen, wenn die Kurbel *b* sich gleichförmig bewegt, ungleichförmig vor sich, indem die Kurbel dem Lenkstabe in der Stegferne 3‴ eine Minimalgeschwindigkeit, in der Stegnähe 3′ eine Maximalgeschwindigkeit ertheilt. Wegen dieser Eigenschaft ist der Mechanismus von Whitworth und anderen in der Form $(C_3''P^{\perp})^{\frac{a}{b}}$ als Getriebe für „schnellen Rückgang" benutzt worden. Nach Goodeve*) sollen schon die Alten den Mechanismus gekannt und zwar zur Darstellung der Bewegung des Mondes gegen die Erde benutzt haben. Wir nennen ihn die rotirende Kurbelschleife.

Das Getriebe $(C_3''P^{\perp})^{c}$. Die vierte und letzte Aufstellung erhalten wir durch die Feststellung des Schiebers *c* statt des Gliedes *a*, Fig. 221. Die Koppel *b* macht nunmehr Schwingungen um

Fig. 221.

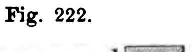


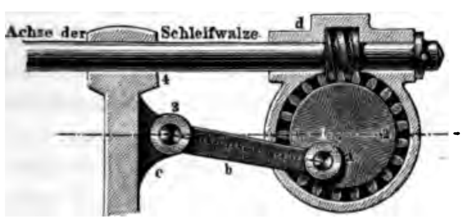
die feste Achse 3, der Stab *d* bewegt sich geradlinig in dem zum Stege gewordenen Schieber hin und her, ist also zum Schieber geworden, die Kurbel *a* endlich ist in eine Koppel übergegangen und macht verwickelte oscillatorische Bewegungen. Wir nennen das Getriebe wegen der schwingenden Bewegungen des Gliedes *b* eine oscillirende Schubkurbel. Das Getriebe ist wenig bekannt, doch finden sich hie und da Anwendungen desselben vor. Unter anderem ist dasselbe in dem in Fig. 222 skizzirten Apparat zum Schleifen der Kratzenwalzen benutzt, und dient dazu, eine Schleifwalze während ihrer Drehung axial hin und her zu bewegen. Da das Glied *a* die Bewegung einleitet, heisst die besondere Formel $(C_3''P^{\perp})^{\frac{c}{a}}$. Eine andere Anwendung, ebenfalls in der Form

*) Goodeve, Elem. of mechanism, London 1860, S. 68.

$(C_3''P^{\perp})^{\frac{c}{a}}$, hat das Getriebe in einem von mir angegebenen Mechanismus, damals Zahnexzentrik*) genannt, gefunden; auf eine dritte sehr merkwürdige komme ich weiter unten zurück.

Unsere Analysirung hat also ergeben, dass aus der Kette $(C_3''P^{\perp})$ vier Mechanismen hervorgehen, von denen der erste sehr, der letzte nur wenig bekannt ist, deren hier erörterte Zusammengehörigkeit aber bisher völlig unbekannt war. Zugleich haben wir aber auch die Kette, wie sie vor uns liegt, erschöpft; wir wissen, dass nicht mehr als diese vier Mechanismen aus ihr zu bilden sind. Betrachten wir dieselben jetzt noch einmal nebeneinander, so geben uns die erhaltenen Formeln Gelegenheit, Verwandtschaften näherer Art unter den gefundenen Getrieben kennen zu lernen. Schreiben wir zu dem Ende die Formeln der Reihe nach an, so können wir sie bequem untereinander vergleichen. Wir haben:


Fig. 222.



$$
\begin{aligned}
& \qquad\quad \overbrace{\qquad}^{a} \qquad \overbrace{\qquad}^{b} \qquad \overbrace{\qquad}^{c} \qquad \overbrace{\qquad}^{d} \\
(C_3''P^{\perp})^d &= C^+ \ldots \| \ldots (C) \ldots \| \ldots (C) \ldots \perp \ldots \underline{(P) \ldots \perp \ldots C_=^-} \\
(C_3''P^{\perp})^b &= C^+ \ldots \| \ldots \underline{(C) \ldots \| \ldots (C)} \ldots \perp \ldots (P) \ldots \perp \ldots C_=^- \\
(C_3''P^{\perp})^a &= \underline{C^+ \ldots \| \ldots (C)} \ldots \| \ldots (C) \ldots \perp \ldots (P) \ldots \perp \ldots C_=^- \\
(C_3''P^{\perp})^c &= C^+ \ldots \| \ldots (C) \ldots \| \ldots \underline{(C) \ldots \perp \ldots (P)} \ldots \perp \ldots C_=^-
\end{aligned}
$$

Bedenkt man, dass die Formeln in sich selbst zurücklaufende Ausdrücke sind, dass sie also sowohl von rechts als von links gelesen (oder auch umgeschrieben) werden können, so entdeckt man, dass das zweite und das dritte Getriebe ganz dieselbe Formel haben. Beide haben nämlich ein festgestelltes Glied von der Form $C \ldots \| \ldots C$, daneben auf der einen Seite ein Glied $C \ldots \| \ldots C$, und auf der anderen ein Glied $C \ldots \perp \ldots P$, letztere beiden durch ein Glied $C \ldots \perp \ldots P$ verbunden. Der Unterschied der beiden Mechanismen, der doch, wie wir sahen, gross ist, liegt nur in dem Verhältniss zwischen den Längen a und b. Dieser Verwandtschaft der beiden Mechanismen ist in den gewählten Namen „oscil-

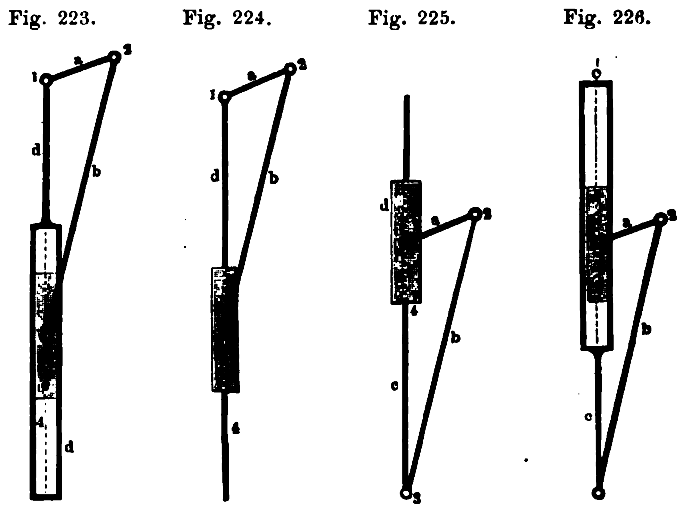
*) S. Civilingenieur, Bd. IV. (1858) S. 4.

lirende" und „rotirende" Kurbelschleife Ausdruck gegeben worden.

Zwischen dem ersten und dem vierten Mechanismus besteht eine ganz analoge Verwandtschaft. Das Gestell heisst bei beiden $C \ldots \perp \ldots P$: bei beiden schliesst sich zur einen Seite $C \ldots \| \ldots C$, zur anderen $P \ldots \perp \ldots C$ an; zwischen den letzteren liegt ein Glied $C \ldots \| \ldots C$. Auch hier ist die vorhandene beträchtliche Verschiedenheit der beiden Mechanismen in dem Verhältniss der Längen a und b begründet. Die Verwandtschaft wurde in den Namen „rotirende" und „oscillirende" Schubkurbel zum Ausdruck gebracht.

Endlich fällt noch auf, dass in allen vier Getrieben die beiden mit einander gepaarten Glieder von der Form $C \ldots \perp \ldots P$, welche der Schieber c und der Steg oder der Lenkstab d sind, ganz gleichartig auftreten, dass also zwischen denselben eigentlich gar kein kinematischer Unterschied besteht. So sonderbar dies für den ersten Augenblick auch klingt, so ist es doch richtig, und verdient genau gemerkt zu werden, wenn man ausgeführte Mechanismen rasch verstehen lernen will. Man prüfe z. B. nochmals Fig. 219. Die Ketten, welche in den folgenden vier Figuren dargestellt sind,

Fig. 223. Fig. 224. Fig. 225. Fig. 226.



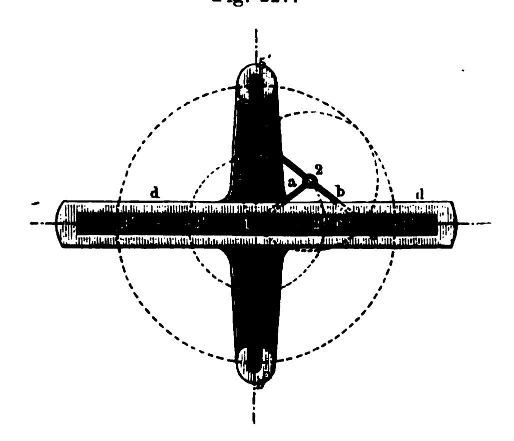
sind kinematisch durchaus identisch. Ihr äusserer Unterschied beruht bloss auf der jederzeit statthaften Umkehrbarkeit der niederen Paare, welche in §. 16 so nachdrücklich, und wie sich hier zeigt, mit Grund hervorgehoben worden ist.

§. 70.

Die gleichschenklige Schubkurbelkette.

Wir fanden vorhin, dass die Mechanismen $(C_3''P^{\perp})^b$ und $(C_3''P^{\perp})^a$ sich nur dadurch unterscheiden, dass $b > a$ angenommen wurde; genau derselbe Umstand macht den Unterschied zwischen den beiden anderen Getrieben derselben Kette, $(C_3'P^{\perp})^d$ und $(C_3''P^{\perp})^c$, aus. Demzufolge müssen wir je eine Zwischenform für jeden der beiden Doppelfälle finden, wenn wir $a = b$ wählen. In der That ist dies der Fall, und zwar gelangen wir dabei zu der schon in §. 47 besprochenen Kette, welche in Fig. 227 abgebildet ist. Die Glieder

Fig. 227.



a und b sind, wie gesagt, gleichlang; dasselbe gilt aber auch von den Gliedern c und d, indem dieselben allgemein in der Kette $(C_3''P^{\perp})$ gleich und unendlich lang sind. Die paarweise gleich grossen Glieder sind benachbart; demnach liegt ganz dieselbe allgemeine Anordnung vor, welche wir in dem gleichschenkligen Kurbelgetriebe Fig. 211 vorfanden. Von der diesem Getriebe zu Grunde liegenden Kette ist die vorliegende ein besonderer Fall, und wir haben sie deshalb als gleichschenklige Schubkurbelkette zu bezeichnen.

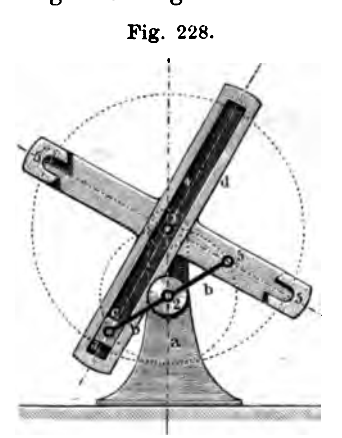
Ihre Polbahnen wurden bereits oben (§. 47) besprochen. Sie sind zwei Paare Cardanischer Kreise, die kleineren zu a und b, die

grösseren zu *c* und *d* gehörig. Das Verhältniss 1:2 zwischen den Umfängen erscheint hier als allgemeine Eigenschaft des gleichschenkligen Kurbelvierecks, indem wir es oben ja ebenfalls bei dem letzteren vorfanden, obwohl dessen Polbahnen eine ungleich verwickeltere Form zeigten; der Grenzfall, nach welchem die Form hinstrebt, liegt hier in seiner Einfachheit vor uns.

Die vier Getriebe der Schubkurbelkette fallen hier in zwei zusammen. Das erste ist das in Fig. 227 dargestellte. Lassen wir in der Schreibung den Schluss durch das höhere Paar unausgedrückt, so lautet die Formel: $(C_2'' \lessdot C''P^{\perp})^{d=c}$. Das Stellen der Kette auf *c* liefert denselben Mechanismus, wie das Stellen auf *d*, weshalb die beiden Zeichen im Exponenten gleichgesetzt wurden. Was den Namen des Getriebes betrifft, so können wir es im Anschluss an das Frühere als **gleichschenklige rotirende Schubkurbel** bezeichnen.

Wird die Kette auf *a* oder *b* gestellt, so entsteht das zweite der möglichen Getriebe. Seine Formel: $(C_2'' \lessdot C''P^{\perp})^{a=b}$. Es ist in Fig. 228 dargestellt. Die Kurbel *a* ist zum Stege, *b* zur Kurbel geworden; der Schieber *c* überträgt die Drehbewegung der letzteren auf den rotirenden Lenkstab *d*. Wir nennen den Mechanismus die **gleichschenklige rotirende Kurbelschleife**.

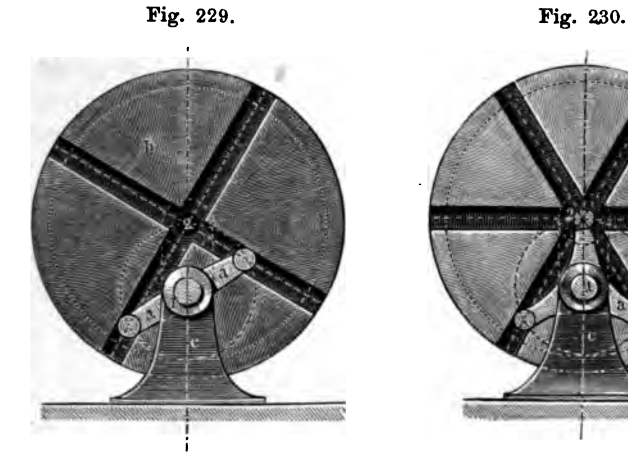
Fig. 228.



Die Glieder *b* und *d* drehen sich im Kreise, und zwar in gleichem Drehungssinne mit dem konstanten Winkelgeschwindigkeits-Verhältniss 2:1, gerade so, als ob *b* und *d* zwei Zahnräder mit innerem Eingriff vom Zähnezahlverhältniss 1:2 wären. In der That hat auch das Zahnrädergetriebe, Fig. 229, bei welchem dem kleineren, zweizähnigen Rade *a* cylindrische Zahnprofile gegeben sind — sogenannte Triebstockverzahnung — grosse Aehnlichkeit mit dem vorstehenden Getriebe, obwohl es ein Glied weniger besitzt. Das vierzähnige Rad *b* entspricht der rotirenden Schleife *d*. Die Aehnlichkeit verschwindet schon mehr, wenn die Zähnezahlen 3 und 6 angewandt werden, wie in Fig. 230, und hört fast ganz auf, wenn man nur andere Zahnformen zu Grunde legt. Uebrigens ist die Verwandtschaft ja

auf der Hand liegend, da die Polbahnen der verglichenen Stücke übereinstimmen. Daneben ist das Ganze ein interessantes Beispiel

Fig. 229. Fig. 230.



von der Lösung einer und derselben kinematischen Aufgabe durch verschiedene Mechanismen.

Bemerkenswerth ist noch die Bewegung des Schiebers *c*. Derselbe hat gegen *b* zur Polbahn einen grossen Cardanischen Kreis, beschrieben aus 3, dessen halb so grosser Partner mit dem Stege *a* fest verbunden zu denken ist, und in 2 sein Zentrum hat. Der letztere Kreis d e c k t sich also mit dem kleinen Cardankreise des Gliedes *b*. Man hat, um sich die Bewegung von *c* deutlich zu machen, sich vorzustellen, dass der grosse Cardankreis 3 um den feststehenden kleinen Kreis aus 2 rollt. Alle Bahnen des Schiebers *c* sind demnach Peri-Kardioiden.

§. 71.

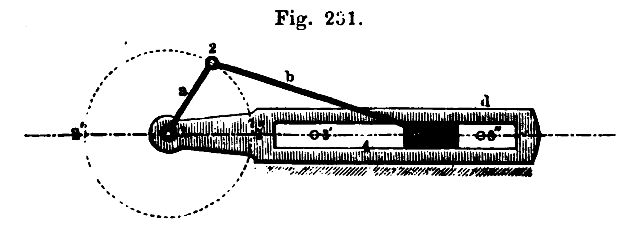
Zapfenerweiterungen in der Schubkurbelkette.

Wir haben uns bisher um die Durchmesser der Cylinderpaare, welche in den Kurbelgetrieben vorkommen, nicht bekümmert. In der That haben auch Aenderungen in den Abmessungen der Elemente keinen Einfluss auf die Bewegungsgesetze, wenn die Polbahnen davon unberührt bleiben. Dennoch verdient die Dimensionenfrage hier einer besonderen Besprechung, da sie in der bisher

gebräuchlichen Auffassung der Kinematik stellenweise durch Verdeckung und Verbrämung des wirklichen Inhaltes der Mechanismen die Ursache mancher Unklarheit geworden ist. Wir wollen uns bei der folgenden Untersuchung vorerst auf die Schubkurbelkette ($C_3''P^{\perp}$) beschränken, und an ihr insbesondere auch zunächst nur die Wandlungen der Dimensionsverhältnisse der drei Cylinderpaare näher verfolgen. Die Uebertragung auf andere Fälle wird uns danach leicht werden.

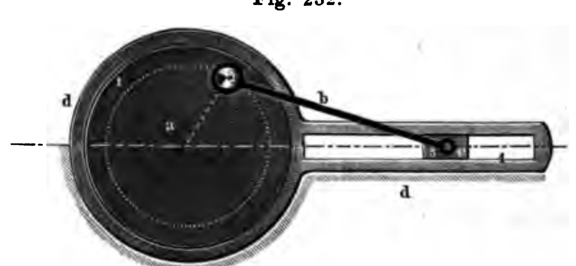
Die drei Cylinderpaare 1, 2 und 3, welche an der Schubkurbelkette ($C_3''P^{\perp}$) Fig. 231 vorkommen, gehören allen vier Gliedern

Fig. 231.



mehr oder weniger an, und wirken deshalb durch ihre Ausführungsgrösse auf deren Gestalt ein, ohne indessen dadurch, wie gesagt, ihre Bewegungsgesetze zu beeinflussen. Offenbar ändern wir daher kinematisch nichts in der Kette, wenn wir z. B. den Voll-Cylinder oder Zapfen bei 1, welcher der Kurbel *a* angehört, so gross von Durchmesser annehmen, dass das Profil 2 innerhalb des Profiles von 1 fällt, Fig. 232. Wir haben hier den Zapfen 1 so

Fig. 232.



weit auseinander gezogen, wir wollen es nennen soviel „erweitert" *), dass dass Profil des Zapfens 2 in seinen inneren Raum fällt. Der

*) Vergl. den Begriff der Erweiterung mit demjenigen der Aequidistantenziehung in §. 35.

an d befindliche Hohlcylinder muss nun auch genau auf das Maass des Cylinders 1 erweitert werden, damit er denselben nach wie vor umschliesse. Diese Einrichtung, von der wir kurz sagen können, dass bei ihr „2 in 1 liegt", kommt in der Maschinenpraxis vor an gewissen Durchstossmaschinen, Eisenscheeren und dergleichen, wo eine Kurbel von geringer Armlänge a mit ihrer Achse aus einem und demselben Block hergestellt wird.

Erweitert man statt des Zapfens 1 den Zapfen 2, und zwar in solchem Maasse, dass 1 hineinzuliegen kommt, so entsteht die in Fig. 233 dargestellte Form der Kette. Ist dieselbe auf d gestellt

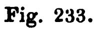
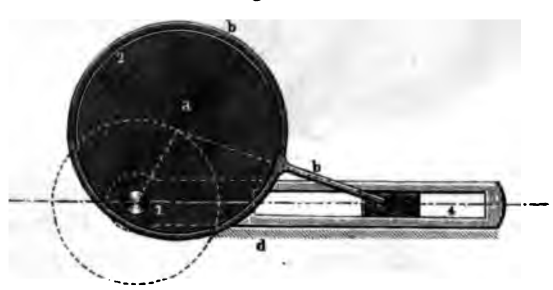


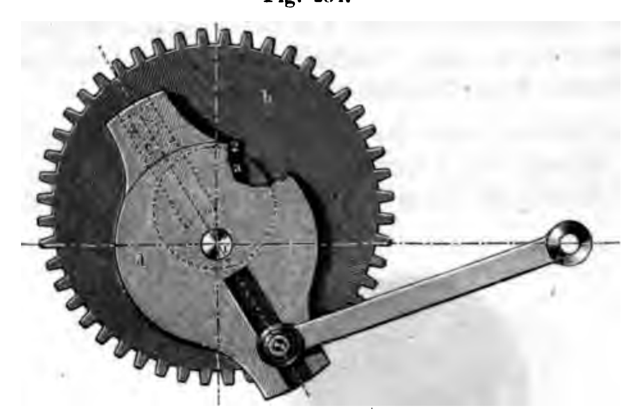
Fig. 233.



und a das treibende Glied, so dass das Getriebe $(C_3''P^{\perp})_{a}^{d}$ entsteht, so haben wir eine sehr gebräuchliche Einrichtung vor uns, in welcher die Kurbel a gewöhnlich das Kreisexzentrik oder kurzweg Exzentrik, exzentrische Scheibe genannt wird. Man sieht, dass sich dieselbe einzig und allein in konstruktiver Beziehung von der gewöhnlichen Schubkurbel unterscheidet. Bei Stellung auf a, wobei die rotirende Kurbelschleife $(C_3''P^{\perp})^{a}$ entsteht, ist dieselbe Erweiterung ebenfalls von der Praxis benutzt worden, und zwar in der von Whitworth eingeführten, in Fig. 234 (a. f. S.) dargestellten Form, bei welcher b die Rolle des treibenden Gliedes spielt, die bestimmte Formel also $(C_3''P^{\perp})_{b}^{a}$ heisst. Der Mechanismus dient zur Herbeiführung eines „schnellen Rückganges" (siehe oben) und wurde von Redtenbacher in seinen „Bewegungs-Mechanismen" maskirte Kurbelschleife genannt. Die Pleuelstange nebst ihrem Verstellungsmechanismus und Anhang gehören nicht zu unserer Kette, ebensowenig wie das Zahnrad. Dagegen ist in dem Körper des Zahnrades die Koppel b zu erblicken, welche einerseits den (Hohl-) Zapfen 2, andererseits den Zapfen 3

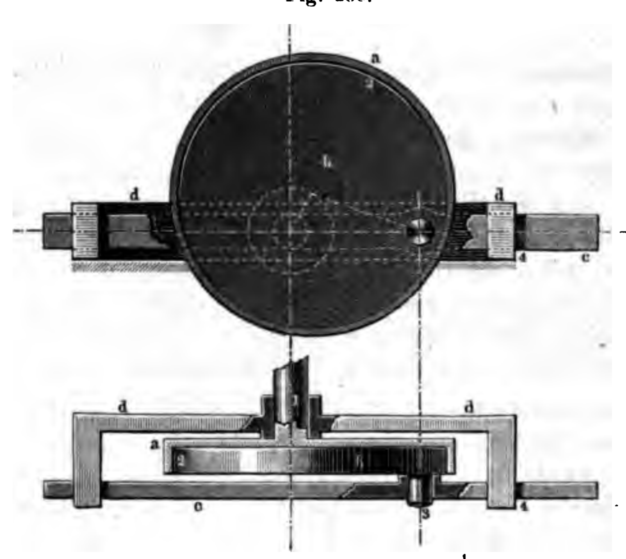
an sich trägt. Mit letzterem greift sie in die Gleitpfanne *c*, den Schieber, ein. Dieser seinerseits gleitet in dem Hohlprisma der Schleife *d*.

Fig. 234.



Wird der Zapfen 2 soviel erweitert, dass 3 hineinfällt, so entsteht die in Fig. 235 dargestellte Einrichtung. Hier ist, was ja

Fig. 235.

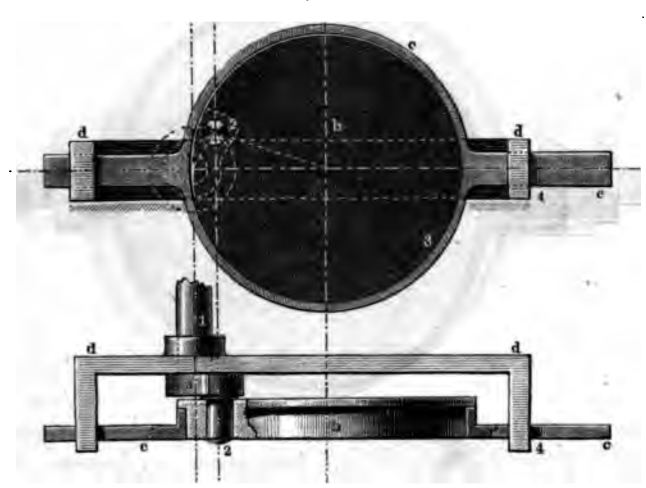


durchaus statthaft ist, der der Kurbel *a* angehörige Cylinder 2 als Hohldrehkörper ausgeführt. Die Koppel *b* hat hier die Gestalt

einer exzentrischen Scheibe, welche um den Vollcylinder 3 des Schiebers *c* oscillirt, während sie von der runden Hülse 2 der Kurbel *a* rings umfahren wird.

Man kann aber auch, statt 3 in 2 zu legen, 2 in 3 hineinfallen lassen, Fig. 236. Die Koppel *b* ist wiederum eine exzentrische

Fig. 236.



Scheibe, die nunmehr in dem mit dem Schieber *c* verbundenen Ringe oscillirt, während der Kurbelzapfen 2 in sie hineingreift. Die Verfolgung der eingetragenen Mittellinien wird dem Leser die ungewöhnliche und deshalb einem Auge, welches noch nicht durch scharfe Abstraktion geschult ist, nicht sofort verständliche Form des Getriebes klar werden lassen.

Wir haben hiermit vier Weisen der Zapfen-Erweiterung in der Schubkurbelkette gebildet, indem wir legten:

2 in 1 (Fig. 232)	3 in 2 (Fig. 235)
1 in 2 (Fig. 232)	2 in 3 (Fig. 236)

Die paarweise stattfindenden Umfassungen der Zapfen 1, 2, 3 sind damit erschöpft. Wir können aber noch weiter gehen, indem wir Umfassungen zu dreien anordnen. Da nämlich 1 in 2 und ausserdem auch noch 2 in 3 liegen kann, so können wir auch beides zugleich eintreten lassen, und also legen:

1 in 2 in 3,

und ebenso 3 in 2 in 1.

Diese beiden Einschachtelungen sind in den Figuren 237 und 238 (a. f. S.) dargestellt, welche beide wieder so gezeichnet sind, als

ob die rotirende Schubkurbel $(C_3''P^{\perp})^d$ gemeint, d. i. als ob der Steg *d* festgestellt sei.

Es macht vielleicht auf den Leser den Eindruck, als ob diese systematische Durchführung des Verfahrens der Zapfenerweiterung

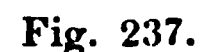
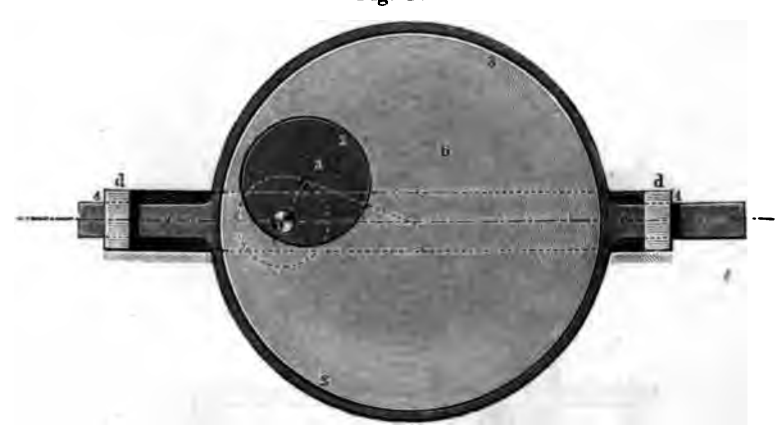


Fig. 237.



sich vom praktischen Gebiete allzusehr entferne, um für die kinematische Praxis eine wesentliche Bedeutung zu haben. Dies ist indessen nicht der Fall, wie die folgende Betrachtung zeigen wird.

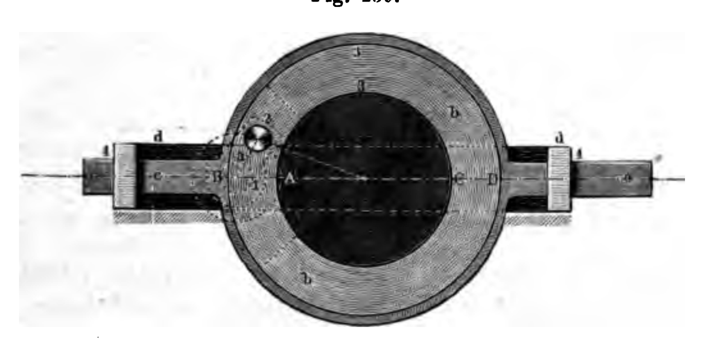
Fig. 238.



Kehren wir noch einmal zu der vierten Erweiterungsweise zurück, bei welcher 2 in 3 lag, so sehen wir bei näherer Betrachtung, dass wir das Glied *c* auch mit einem cylindrischen Mittelvorsprung

versehen können, welcher in eine entsprechende Aushöhlung des Gliedes *b* hineingreift, Fig. 239. Das Glied *d* nehmen wir dabei immer noch als festgestellt an. Die Koppel *b* ist jetzt in einen Ring von rechteckigem Querschnitt übergegangen, welcher nun-


Fig. 239.

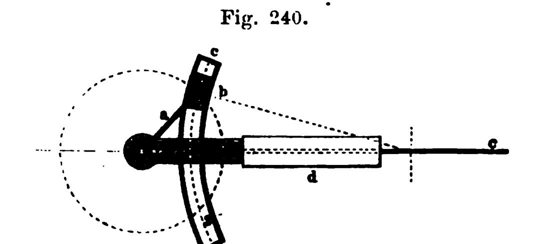


mehr seine oscillatorischen Bewegungen in einer ringförmigen Aushöhlung des Schiebers *c* vollzieht. Wir haben am ganzen Getriebe nichts damit geändert, da das Elementenpaar 3 ja im allgemeinen nur ein geschlossenes Drehkörperpaar ist, dessen Profilirung ganz in unsere Hand gegeben bleibt, wenn wir nur das Paar stets so ausführen, dass es geschlossen ist. Ja diese Bedingung erlaubt uns sogar, noch weitere Veränderungen an dem Paare vorzunehmen. Wenn zunächst angenommen wird, dass die Triebkraft in die Kurbel *a* eingeleitet werde, die bestimmte Formel des Getriebes also $(C''_3 P^{\perp})^{\frac{d}{a}}$ sei, so handelt es sich um Hin- und Herbewegung des Schiebers *c*. Beachten wir nun, dass die Koppel *b* sich beim Rechtsschub sowohl an dem Cylinderflächenstück *A*, als bei *D* anlegen wird, und beim Linksschub an der Stelle *B* und zugleich an der Stelle *C*, so sehen wir bald ein, dass diese jedesmal stattfindende doppelte Stützung auch wohl durch eine einfache ersetzt werden kann; diese lässt sich auf verschiedene Weise ausführen. Recht bequem kommen wir zum Ziel, wenn wir um den Zapfen 2 herum einen Sektor aus dem Ringe *b* ausschneiden, den die Figur punktirt andeutet, und diesen allein übrig lassen. Derselbe wird dann beim Rechtsschieben sich an der Stelle *A* gegen den Schieber stemmen, beim Linksschieben aber an der Stelle *B*, und sich im Ganzen oscillatorisch in dem Hohlringe *c* bewegen. Von diesem letzteren gebrauchen wir dem-

nach auch nur ein Stück, welches gross genug ist, um dem Sektor *b* nach beiden Seiten den nöthigen Spielraum zu gewähren.

Die so abgeänderte Vorrichtung ist in Fig. 240 dargestellt. Wir dürfen nicht vergessen, dass *b* nach wie vor die Koppel ist,

Fig. 240.



welche vermöge ihrer Einreihung in die Kette vollständig geschlossen geht, oder vollständig zwangläufig ist, und ebenso dass der Schieber *c* noch seine früheren kinematischen Theile besitzt. *b* ist nach wie vor ein Glied von der Form $C \ldots \| \ldots C$, von welchen Cylindern der eine als Hohlcylinder den Kurbelzapfen 2 umfasst, während der andere mit ausreichender Stützung in den Hohldrehkörper am Schieber *c* eingreift, und sich gegen *c* ganz wie vorher, nämlich um dieselbe Achse schwingend bewegt. Wollen wir die beiden Glieder *b* und *c* so schreiben, wie sie ausgeführt sind, so haben wir in beiden statt des vollständigen Cylinders bei 2 einen Cylindersektor oder „Arcus" zu setzen, und haben also:

$$\overbrace{C^- \ldots \| \ldots A}^{b} \underline{\pm} \overbrace{A^- \ldots \perp \ldots P^+}^{c}$$

Hiermit ist denn zugleich bewiesen, dass ein Paar von der Form $C \underline{\pm} C^-$ oder $C \underline{\mp} C^+$, sobald es sich nur in Oscillationen von kleinem Winkel bewegt, immer durch ein Paar von der Form $A \underline{\pm} A^-$ oder $A \underline{\mp} A^+$ ersetzt werden kann, dass also in einem solchen Falle:

$$(C) = (A)$$

Diese Ersetzung eines Cylinderpaares durch ein Arcuspaar oder eine bogenförmige Schleife nebst Gleitstück haben wir oben, zu Anfang des §. 68, bereits einmal vorgenommen. Hier sehen wir, dass die Berechtigung dazu vollständig vorhanden war, dass nämlich durch diese Ersetzung thatsächlich die Kette nicht verändert worden ist.

Die Praxis macht von diesem Umstande einen ausgedehnten

Gebrauch, bedient sich also mit anderen Worten der Zapfenerweiterung sehr häufig. Das obige Getriebe, Fig. 240, ist bekannt und angewandt, obwohl man es bisher nicht für die gewöhnliche rotirende Schubkurbel hält. Man hat nachgewiesen*), dass sich der Schieber in Folge der Kurbeldrehung gerade so bewegt, als ob er mit der Kurbel durch eine Pleuelstange verbunden sei, deren Länge gleich dem Krümmungshalbmesser der Schleife sei. Man hat aber dabei nicht bemerkt, dass das kleine Gleitstück wirklich diese Pleuelstange oder Koppel selbst ist. Die Kleinheit des räumlichen Umfanges, auf welchen sie zusammenschrumpft, macht den Schleifbogen zu manchen Anwendungen im Kurbelgetriebe ungemein geschickt. Als an ein sehr bekanntes Beispiel darf ich an die Schleifbogen der Lokomotivsteuerungen von Stephenson, Gooch u. a. erinnern, welche Getriebe zwar an sich nicht hierhergehören, da sie zusammengesetzte, nicht einfache Kurbelgetriebe sind, bei denen aber die Ersetzung von (C) durch (A) wesentlich ist und in verschiedenen Abänderungen vorkommt (vergleiche §. 16).

Ein anderes Beispiel der Zapfenerweiterung bietet der in folgender Figur dargestellte Mechanismus, welcher in Durchstossmaschinen vorkommt, dar. Das Ganze ist eine rotirende Schubkurbel von der Formel $(C''_3 P^{\perp})^{\frac{d}{a}}$. Das Glied b oder die Koppel ist, was den Cylinder 3 betrifft, in ähnlicher Weise wie oben ausgeführt. Nur ist sowohl zur einen, als zur anderen Seite des Zapfens 2 ein konkaves Bogenstück als Profil benutzt, und zwar bei B ein solches von grossem, bei D eines von sehr kleinem Halbmesser, beide berührt von den entsprechenden Gegenformen, welche am Schieber c zur Ausführung zu bringen waren. Der Schieber c ist ausserdem vom Stege d derart umschlossen, dass der aus den beiden Stücken bei B und D bestehende Zapfen 3 innerhalb des Prismas 4 liegt. Wir haben demnach hier eine Elementen-Einrichtung des Schubkurbelgetriebes vor uns, bei welcher 2 in 3 und ausserdem 3 in 4

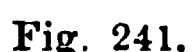


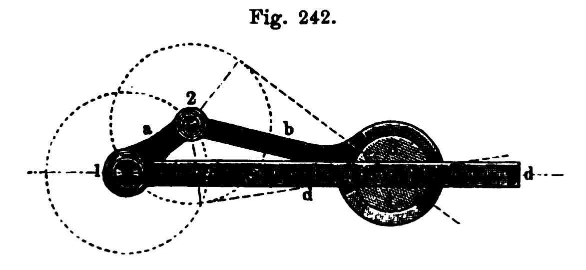
Fig. 241.



*) Siehe z. B. Giulio, Cinematica, S. 109.

liegt, ein Beispiel von der Art und Weise, wie auch das vierte Paar in das Verfahren der Erweiterung mit hineingezogen werden kann. Um zu zeigen, wie auch umgekehrt 4 in 3 gelegt werden kann, sei noch das in Fig. 242 dargestellte Beispiel angeführt. Hier ist

Fig. 242.



der Zapfen 3 des Gliedes *c* so gross gemacht, dass durch ihn hindurch das zum Paare 4 gehörige Hohlprisma geführt werden konnte. Um den Schieber *c* oscillirt nun der zur Koppel *b* gehörige Hohlcylinder 3, welcher aber mit Ausschnitten versehen ist, die seinem Zusammenstossen mit dem Stege *d* vorbeugen. Man findet die erforderliche Grösse dieser Ausschnitte, indem man, wie in der Figur angedeutet, den Steg *d* in den beiden Stellungen seiner stärksten Abweichung von *b* verzeichnet. Diese treten ein, wenn die Kurbel *a* rechtwinklig zum Stege *d* kommt. Auf Anwendungen dieser Erweiterungsform werden wir weiter unten stossen.

Im allgemeinen gibt die Zapfenerweiterung, wie man gesehen hat, Anlass zu auffallenden Formänderungen des Kurbelgetriebes, Aenderungen, welche einestheils den ursprünglichen und eigentlichen Inhalt des Mechanismus vielfach zu verdecken vermocht haben, anderntheils dem Konstruirenden häufig grossen Vortheil gewähren. Auch von anderen Mechanismen gilt dieses. Manche bekannte Vorrichtung tritt in ein neues unerwartetes Licht, wenn man die an ihr vorkommenden Bogenschleifen auf ihre reine Form $C\ldots\|\ldots C$ zurückführt; wieder andere gewinnen durch das umgekehrte Verfahren eine für die praktische Verwerthung geeignetere Form, als man ihnen sonst zu geben im Stande ist*).

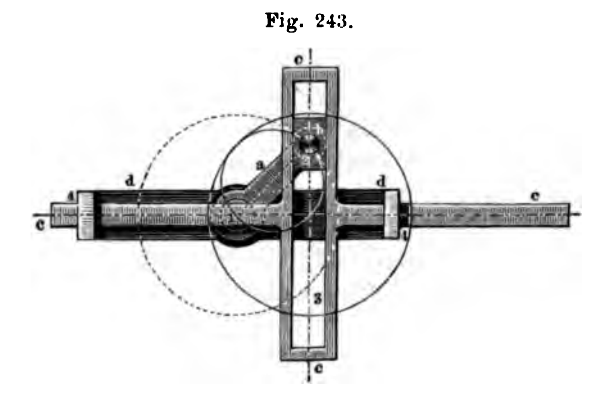
*) Von dem Begriffe der Erweiterung der Elemente habe ich in meinem Konstrukteur schon längere Zeit Gebrauch gemacht, ohne seine Einführung motiviren zu können, da dieses, wie man gesehen hat, grosse Weitläufigkeiten erforderte. Ich habe mich deshalb nicht wundern dürfen, dass der Begriff vielfach unverstanden geblieben und für unwichtig, ja für überflüssig gehalten worden ist.

§. 72.

Die rechtwinklige Kreuzschleifenkette $(C_2'' P_2^{\perp})$.

Die Engräumigkeit, auf welche die Ersetzung eines schwingenden (C)-Paares durch das Paar (A) ein schwingendes Glied der Kurbelkette zu bringen verstattet, haben wir bereits oben, §. 68,

Fig. 243.



gut verwerthet, indem wir die unendlich lang angenommene Schwinge *c* auf die Form des Schiebers zusammendrängten. Wenden wir dasselbe Verfahren auf die Schubkurbelkette hinsichtlich der Koppel *b* an, so können wir auch diese, die in der Anordnung Fig. 240 bereits als Gleitstück in der Bogenschleife erscheint, unendlich lang machen. Die Schleife des Schiebers *c* wird dann geradlinig und rechtwinklig zur Verbindungslinie 1.3, die Koppel ein prismatisches Gleitstück mit rechtwinklig darauf stehendem Cylinder 2, wie vorstehende Figur darstellt. Schreiben wir die umgewandelte Kette vollständig an, so haben wir, bei der Kurbel *a* anfangend:

$$\overbrace{C^{+} \ldots \| \ldots C_{=}^{\pm}}^{a} \overbrace{C^{-} \ldots \perp \ldots P_{=}^{\pm}}^{b} \overbrace{P^{-} \ldots \perp \ldots P_{=}^{\pm}}^{c} \overbrace{P^{-} \ldots \perp \ldots C_{=}^{-}}^{d}$$

Der Schieber *c* ist in ein rechtwinkliges Prismenkreuz übergegangen, welches, da eines der Prismen, wie in unserer Figur, oder auch beide, wie unten in Fig. 248, oft in Hohlprismenform ausgeführt werden, eine Schleife genannt worden ist; wir wollen es eine Kreuzschleife, insbesondere eine rechtwinklige oder ge-

rade Kreuzschleife, und die ganze Kette die **rechtwinklige Kreuzschleifenkette** nennen. Die Kurbel a ist geblieben wie sie war, die Koppel b aber in die Form $C \ldots \perp \ldots P$ übergegangen.

Wollen wir zunächst die Formel auf die zusammengezogene Form bringen, so haben wir zu beachten, dass die Kette aus zwei parallelen Cylinderpaaren und zwei zu einander normalen Prismenpaaren besteht, mithin zu schreiben ist: $(C_2'' P_2^{\perp})$.

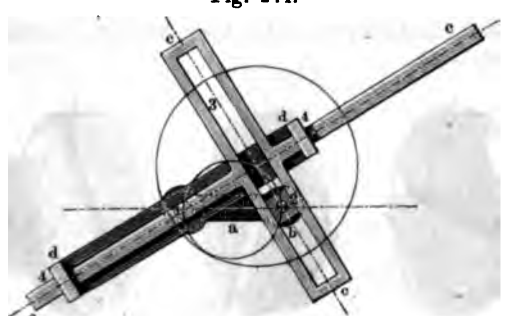
Das Getriebe $(C_2'' P_2^{\perp})^{d=b}$. Hinsichtlich der aus ihr zu bildenden Mechanismen beginnen wir wieder mit der Feststellung von d, können aber alsbald bemerken, dass die Koppel b dem Stege d kinematisch völlig gleich ist und auch ganz wie d in der Kette liegt, nämlich zu einer Seite ein Glied $C \ldots \| \ldots C$, zur andern ein solches $P \ldots \perp \ldots P$ hat. Demnach sind die beiden Getriebe $(C_2'' P_2^{\perp})^d$ und $(C_2'' P^{\perp})^b$ identisch. Denkt man sich in Fig. 243 den Lenkstab d festgestellt, so stellt sie das Getriebe dar. Seine Benennung wird nach dem Bisherigen **rotirende Schleifenkurbel** sein, da das Getriebe aus der rotirenden Schubkurbel durch Unendlichmachung der Koppel entstanden ist. Das Getriebe $(C_2'' P_2^{\perp})^b$ dagegen wird, als aus der oscillirenden Kurbelschleife entstanden, **oscillirende Kreuzschleife** zu benennen sein. Die erzeugte Bewegung ist einfacher Natur. Die Polbahnen zwischen a und c werden Cardanische Kreise, der kleine über a oder 1.2 als Durchmesser, der grosse aus der Mitte der Kreuzschleife c mit a als Halbmesser beschrieben, siehe Fig. 243. Für b und d werden die Polbahnen unendlich gross und sind durch sekundäre Polbahnen zu ersetzen, welche ausdrücken, dass b gegen d mit allen seinen Punkten gleichgrosse Kreise beschreibt, sich also stets parallel zu seinen früheren Lagen bewegt. Hier sind diese sekundären Polbahnen weggelassen.

Die rotirende Schleifenkurbel wird nicht selten angewandt. Namentlich hat sie als Bewegungsmechanismus der Dampfpumpen zahlreiche Anwendungen in der Form $(C_2'' P_2^{\perp})^{\frac{d}{a}}$ gefunden. Sehr dienlich ist manchmal der Umstand befunden worden, dass bei gleichförmiger Drehung der Kurbel diese dem Schieber c eine „reine einfache Schwingungsbewegung" ertheilt.

Das Getriebe $(C_2'' P_2^{\perp})^a$. Wird die Kette auf a gestellt, so erhalten die Glieder b und d feste Drehachsen bei 2 und 1; die Kreuzschleife c wandert um a herum, und zwar indem der ihr angehörige grosse Cardankreis um den feststehenden kleinen herum-

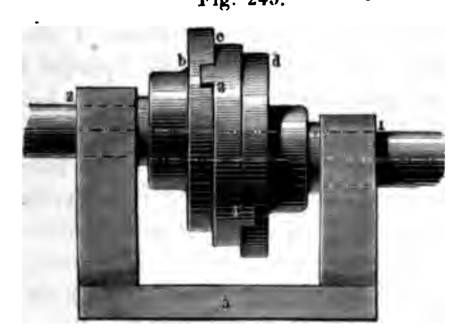
rollt. Unsere Fig. 244 stellt das Getriebe dar. Wir wollen es die **rotirende Kreuzschleife** nennen. Die Glieder *b* und *d* sind kinematisch gleich, obwohl sie ungleich dargestellt sind; beide drehen sich stets um gleiche Winkel.

Fig. 244.



Das vorliegende Getriebe wird mehrfach praktisch verwendet. Eine interessante Benutzung desselben ist diejenige in der bekannten **Oldham'schen Kupplung***), Fig. 245, welche zur gleichförmigen Drehungsübertragung zwischen parallelen Wellen dient, also zu schreiben wäre:

Fig. 245.



$(C_2'' P\frac{\perp}{2})^{\frac{a}{a}}$ oder $(C_2'' P\frac{\perp}{2})^{\frac{a}{b}}$. Das Lagergestell für die beiden Wellen ist der Steg *a*; die Zwischenscheibe ist das Glied *c*, die Kreuzschleife

$$P^{\perp} \ldots \perp \ldots P^{\perp};$$

die beiden Wellen nebst ihren Kupplungsscheiben sind die Stücke *b* und *d*. Die drei letzten Glieder sind der Deutlichkeit halber in Fig. 246 (a. f. S.) nochmals einzeln herausgehoben. Die Eigenthümlichkeit des Getriebes $(C_2'' P\frac{\perp}{2})^{a}$, welche in der Oldham'schen Kupplung wesentlich verwerthet ist, ist die Gleichförmigkeit der Drehbewegung der Stücke *b* und *d*. Eine originelle Verwendung hat die Oldham'sche Kupplung in dem abenteuerlichen halbunterseeischen „Cigarrenschiff" der Gebrüder Winan gefunden**).

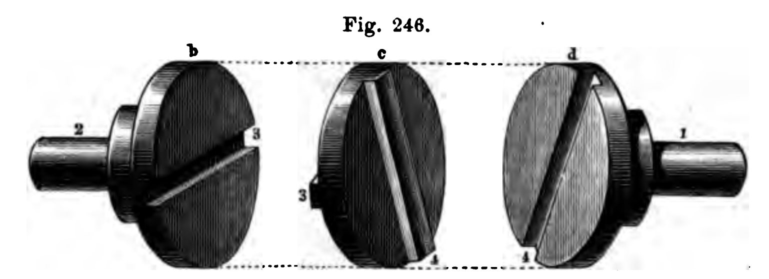
---

*) Siehe meinen Konstrukteur, III. Aufl. S. 260.

**) Siehe Pract. Mech. Journal XIX (1866—67), S. 271.

Eine ebenfalls sehr merkwürdige Anwendung des vorliegenden Getriebes ist das in Figur 247 dargestellte Ovalwerk, welches so viel man weiss von Leonardo da Vinci, dem grossen Künstler, erfunden, wenigstens von ihm studirt worden ist. Hier ist die Eigenthümlichkeit der Kette verwerthet, dass alle Punkte, welche mit dem kleinen Cardankreise, also hier dem Stege a festverbunden

Fig. 246.

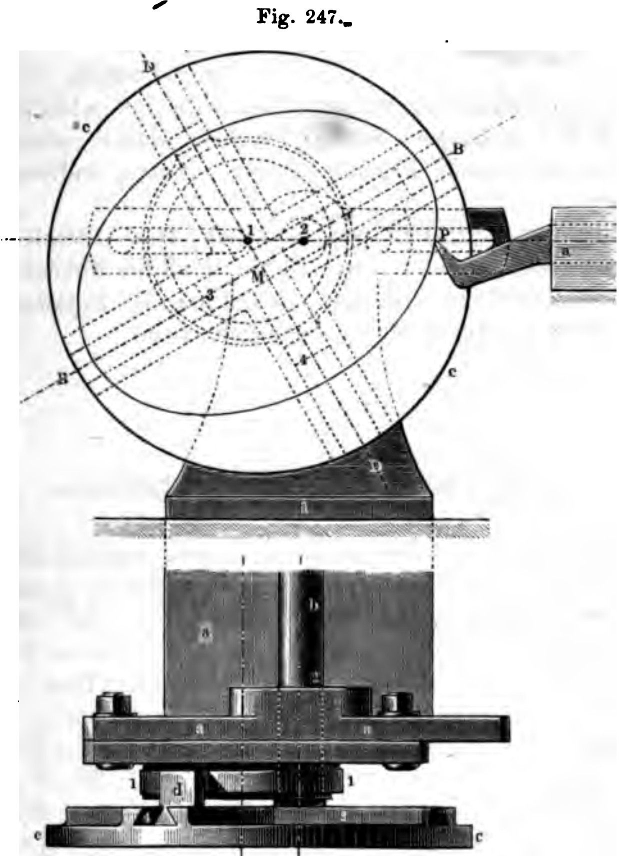


sind, gegen den Träger des grossen Cardankreises Ellipsen*) beschreiben. In dem Apparate selbst sehen wir in dem Körper c der Planscheibe die Kreuzschleife vor uns, auf der Rückseite die einander kreuzenden Prismen tragend. In das eine derselben greift das mit der Drehbankspindel b festverbundene Vollprisma 3 ein. Das Lagergestell oder der Spindelstock a bildet mit der Spindel b das Cylinderpaar 2. An dem Lagergestell (mit Schrauben) befestigt ist der a angehörige Cylinder aus dem Cylinderpaare 1; er hat die Form eines Ringes, durch welchen die Spindel b frei hindurchgeht, ist also soviel erweitert (§. 70), dass 2 in 1 liegen kann. Das Stück d, welches zunächst den Cylinder 1 mit dem zugehörigen Hohlcylinder umfasst, trägt andererseits das Vollprisma 4, zum Eingriff in das zweite Hohlprisma der Kreuzschleife c bestimmt. Der Zeichenstift oder das Werkzeug P bildet einen Theil des ruhenden Stückes oder Steges a. Die Ellipsen, die die Spitze von P gegen die Planscheibe beschreibt, haben, wenn P ausserhalb a liegt, zur Differenz ihrer Halb-Achsen die Länge a; liegt P zwischen 1 und 2, so ist a die Summe der Halbachsen. Die Grösse a ist, soweit es die Erweiterung des Zapfens 1 gestattet, verstellbar, was im Verein mit der Verstellbarkeit von P die grösste Mannigfaltigkeit der

*) Laboulaye, Cinématique (1861) S. 863 will beweisen, dass die im Leonardo'schen Ovalwerk beschriebenen Kurven keine Ellipsen seien, befindet sich aber im Irrthum. Auf die ebendaselbst dargestellte, von der obigen etwas abweichende Form des Mechanismus komme ich unten, §. 76, zurück.

auf dem Apparat erzeugbaren Ellipsen ergibt. Da das Glied *b* die Bewegung einleitet, heisst die vervollständigte Formel: $(C_2''P\frac{\perp}{2})^{\frac{a}{b}}$. Man hätte auch die Aufstellung so wählen können, dass das Glied *d*, welches *b* völlig gleich ist, treibend gewesen wäre (vergl. §. 76). Vergessen darf man nicht, dass die Punktbahnen der Scheibe *c* als vom grossen Cardankreise beschrieben, Kardioiden, beziehungsweise Trochoiden derselben sind. Der Mittelpunkt der Schleife

Fig. 247.

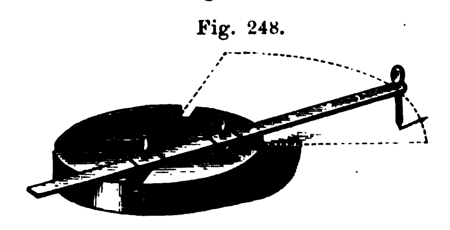


läuft dem kleinen Cardankreise nach, und zwar durchläuft er ihn zweimal bei jeder Drehung von *b* und *d*.

Das Getriebe $(C_2''P\frac{\perp}{2})^c$. Wir haben nun noch die Stellung der Kette auf das Glied *c*, die Kreuzschleife, übrig. Dieselbe liefert die oscillirende Kreuzschleifenkurbel, häufig angewandt in

einem bekannten Ellipsenzirkel, der in mehreren Formen für den Gebrauch auf dem Zeichenbrett oder der Kupferstichplatte, sodann auch in gröberen Ausführungen, Fig. 248, als Stuckateurzirkel*) u. s. w. in der Praxis umgeht. Seine bestimmte Formel heisst $(C_2''P\frac{1}{2})^{\frac{c}{a}}$. Dass zwischen diesem Instrument und dem Leonardo'schen Ovalwerk der Zusammenhang besteht, welchen wir den der Kettenumkehrung nennen, hat Chasles entdeckt, wie ich schon in §. 3 anmerkte, worauf ich hier wieder verweise. Das eigentlich zu Grunde liegende Gesetz entgieng indessen diesem Forscher.

Fig. 248.



Die Kette $(C_2''P\frac{1}{2})$ ist wie wir sehen, eine vielfach benutzte; mehr als manche andere aber ist sie durch die Nebenformen der Ausführung verdeckt und der Erkenntniss des Zusammenhanges mit anderen Ketten bisher entzogen geblieben.

§. 73.

Die geschränkte Schubkurbelkette.

Der bereits sehr ansehnliche Gestaltenreichthum der Kurbelkette erfährt noch eine beträchtliche Vermehrung dadurch, dass bei der Schubkurbelkette $(C_3''P)$ und ihren ferneren Umbildungen die gleichzeitig unendlich lang angenommenen Glieder keineswegs nothwendig auch gleich lang zu sein brauchen. Dies hat seinen Grund darin, dass die Ausgangspunkte der unendlich lang gedachten Stücke im Endlichen, nämlich in unserem Mechanismus selbst liegen, und demnach die Unterschiede der Lagen dieser Ausgangspunkte durch die unendliche Grösse selbst nicht aufgehoben werden. Wir wollen uns bei der näheren Betrachtung der entstehenden Gestaltungen kurz fassen.

Macht man in der Kurbelkette (C_4'') Fig. 249, die Glieder c und (dann nothwendig) d unendlich lang, aber c grösser als d, so entsteht die in den Fig. 250 und 251 dargestellte Kette. Die Rich-

*) Von den Franzosen auch Compas de menuisier genannt.

tung des Schubes, in welchem sich der Zapfenpunkt 3 gegen das Glied *d* bewegt, geht nicht mehr durch den Punkt 1, sondern in einem Abstande gleich der Differenz $c - d$ daran vorüber. Aus-

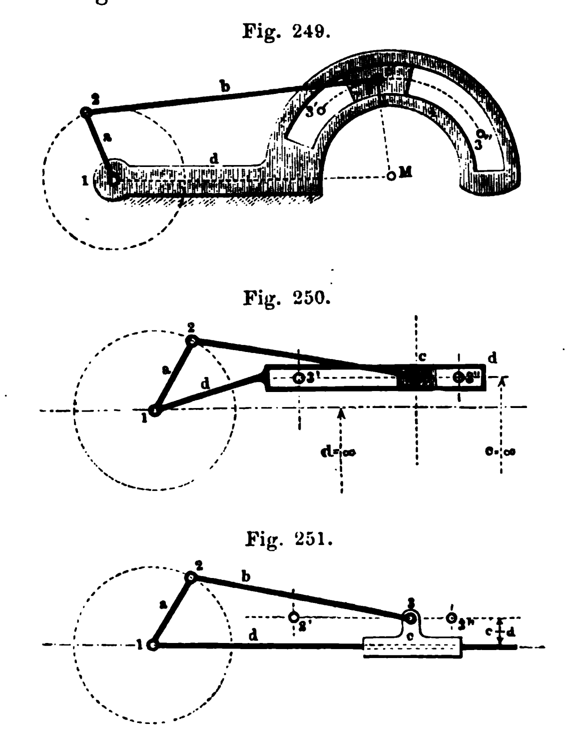


Fig. 249.

Fig. 250.

Fig. 251.

führlich geschrieben heisst die entstehende „geschränkte" Schubkurbelkette:

$$C^+ \ldots \| \ldots C^+_= C^- \ldots \| \ldots C^-_= C^+ \ldots + \ldots P^+_= P^- \ldots \perp \ldots C^-_=$$

oder auch:

$$C^+ \ldots \| \ldots C^+_= C^- \ldots \| \ldots C^-_= C^+ \ldots \perp \ldots P^+_= P^- \ldots + \ldots C^-_=,$$

indem an die Stelle eines der Zeichen für „rechtwinklig" im Gliede *c* oder *d* das Zeichen für „normal oder rechtwinklig geschränkt" zu treten hat.

In der zusammengezogenen Gestalt lautet diese Formel: $(C''_3 P^+)$. Die Kette liefert, wie die einfachere $(C''_3 P^{\perp})$, vier Mechanismen, je nachdem sie nämlich auf *d*, *b*, *a* oder *c* gestellt wird; die Namen können die früheren sein, nur sind sie durch das Beiwort geschränkt näher zu bestimmen. Wir erhalten demnach: die geschränkte rotirende Schubkurbel $(C''_3 P^+)^d$, die geschränkte oscil-

lirende Kurbelschleife $(C_3''P^+)^b$ u. s. w. Die Bewegungen, welche in diesen Getrieben vor sich gehen, sind verwickelter, als die in den früheren Fällen, da die Unsymmetrie der Glieder einen bedeutenden Einfluss ausübt, haben aber nothwendig einen engen Zusammenhang mit jenen. Die Anwendungen sind ungleich seltener. Ein originelles Beispiel einer solchen liefert der in Fig. 252 dargestellte Schwartzkopff'sche Schraubenschlüssel. Derselbe dient

Fig. 252.

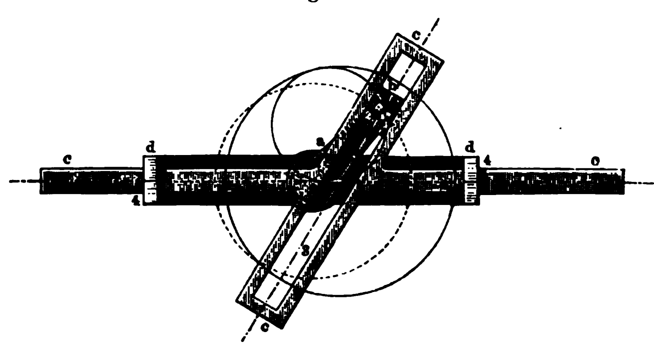


als selbstthätiger, d. h. sich selbstthätig einstellender Universal-Schraubenschlüssel. Zum Andrücken der beweglichen Backe *c* ist der Mechanismus der geschränkten rotirenden Schubkurbel $(C_3''P^+)^d$, und zwar in der Form $(C_3''P^+)^{\frac{d}{a}}$ gebraucht. Das Stück *a*, welches als Handgriff dient, ist die Kurbel, mit dem Zapfen 1 im Stege *d* drehbar. Es greift bei 2 mit einem dort befindlichen Zapfen an die Koppel *b*, welche bei 3 in den Schieber *c* eingelenkt ist, und diesen in der Schubrichtung *CD* verschiebt. 4 ist das Prismenpaar zwischen den Gliedern *c* und *d*. Wird der Griff *a* in der Pfeilrichtung gedreht, so klemmt der Mechanismus die Schraubenmutter zwischen den Schieber *c* und den Steg *d* ein, und zwar um so fester, je stärker auf *a* gedrückt wird. Mutter und Schlüssel gehen dadurch in eine so zu sagen starre Verbindung über, so dass der Stiel *a* gleichsam einen Arm der Mutter bildet, mit welchem man sie herumführen und festdrehen kann. Wird der Schlüssel umgekehrt aufgesetzt, so kann man mit ihm die Mutter lösen. Bei jedem neuen Ansetzen des Schlüssels tritt das Getriebe $(C_3''P^+)$ auf kurze Zeit in Thätigkeit.

Geringere Wichtigkeit als bei der symmetrischen Schubkurbelkette haben die gleichschenklige geschränkte rotirende Schubkurbel $(C_2''\angle C''P^+)^{d=c}$ und die gleichschenklige geschränkte oscillirende Kurbelschleife $(C_2''\angle C''P^+)^{b=a}$, welche beiden Getriebe sich nach Analogie der in §. 69 besprochenen bilden lassen.

Bemerkenswerth sind aber noch die besonderen Fälle, welche entstehen, wenn auch noch $b = \infty$ genommen wird. Die rechtwinklige Kreuzschleife geht dann in eine schiefwinklige über, Fig. 253,

Fig. 253.



die wir schiefe Kreuzschleife oder auch Scharkreuzschleife nennen wollen*). Die Kette ist zu schreiben:

$$\overbrace{C^+ \ldots \| \ldots C^+_=}^{a}\overbrace{C^- \ldots \perp \ldots P^+_=}^{b}\overbrace{P^- \ldots \angle \ldots P^+_=}^{c}\overbrace{P^- \ldots \perp \ldots C^-_=}^{d}.$$

Das Zeichen für geschränkt verschwindet wieder, und macht demjenigen für geneigt Platz. Heben wir in der verkürzten Schreibung wieder wie bisher die karakteristischen Beziehungszeichen der Glieder hervor, so hat die zusammengezogene Formel zu lauten: $(C''_2 P^{\angle}_2)$. Wir erhalten aus dieser Kette, da b und d wiederum völlig gleich, und auch gleich angeordnet sind, ganz wie oben drei Getriebe, nämlich:

die rotirende Scharkreuzkurbel . . . . . . oder oscillirende schiefe Kreuzschleife . .	$(C''_2 P^{\angle}_2)^{d=a}$
die rotirende schiefe Kreuzschleife	$(C''_2 P^{\angle}_2)^{a}$
die oscillirende Scharkreuzkurbel	$(C''_2 P^{\angle}_2)^{c}$

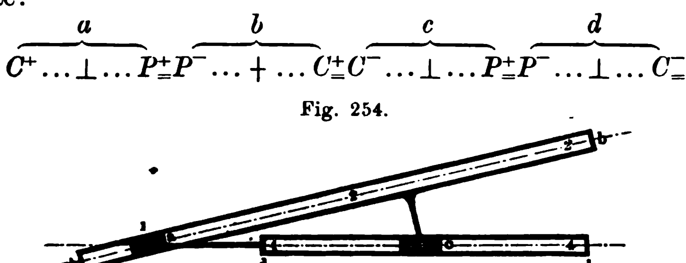
Neben diesen besonderen Fällen besitzt die geschränkte Schubkurbelkette endlich noch zwei besondere Gestalten, die einer Erwähnung ebenfalls bedürfen. Es sind solche, welche erhalten werden, wenn nicht nur drei der Glieder, sondern sogar alle vier unendlich gross genommen werden.

*) Nach bergmännischem Sprachgebrauch heisst ein schiefwinkliges Kreuz ein Scharkreuz.

Macht man $c = d = \infty$ wie oben dann auch noch $b = \infty$ und $a = \infty$, letzteres aber $< b$, so entsteht die in Fig. 254 dargestellte Kette:

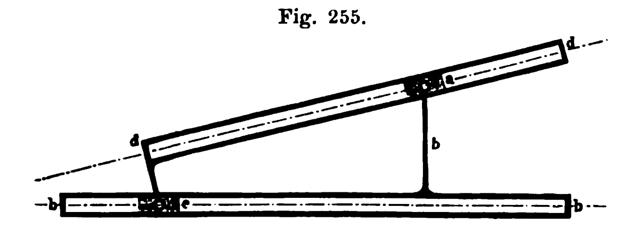
$$\overbrace{C^+ \ldots \perp \ldots P^+_=}^{a}\overbrace{P^- \ldots + \ldots C^+_=}^{b}\overbrace{C^- \ldots \perp \ldots P^+_=}^{c}\overbrace{P^- \ldots \perp \ldots C^-_=}^{d}$$

Fig. 254.



Wir können sie die einfach geschränkte Winkelschleifenkette nennen, und verkürzt $(CP^+CP^\perp)$ schreiben. Sie liefert, da alle vier Glieder verschiedenartig liegen, vier Getriebe. Macht man auch noch c und d verschieden gross, z. B. $d > c$, und ausserdem auch die Differenz von a und b verschieden von der Differenz von c und d, so erhält man die doppelt geschränkte Winkelschleifenkette $(CP^+)_2$, welche die Fig. 255 darstellt.

Fig. 255.



Die Glieder a und c liegen gleichartig in der Kette, ebenso die Glieder b und d; deshalb liefert die Kette nur zwei Mechanismen. In den Mechanismen, welche aus beiden Ketten zu bilden sind, kommen keine geschlossenen Polbahnen mehr vor, die Polbahnen haben sämmtlich unendlich ferne Punkte. Die einfache geschränkte Winkelschleifenkette ist nicht ohne praktische Anwendungen.

§. 74.

Zusammenstellung der cylindrischen Kurbelgetriebe.

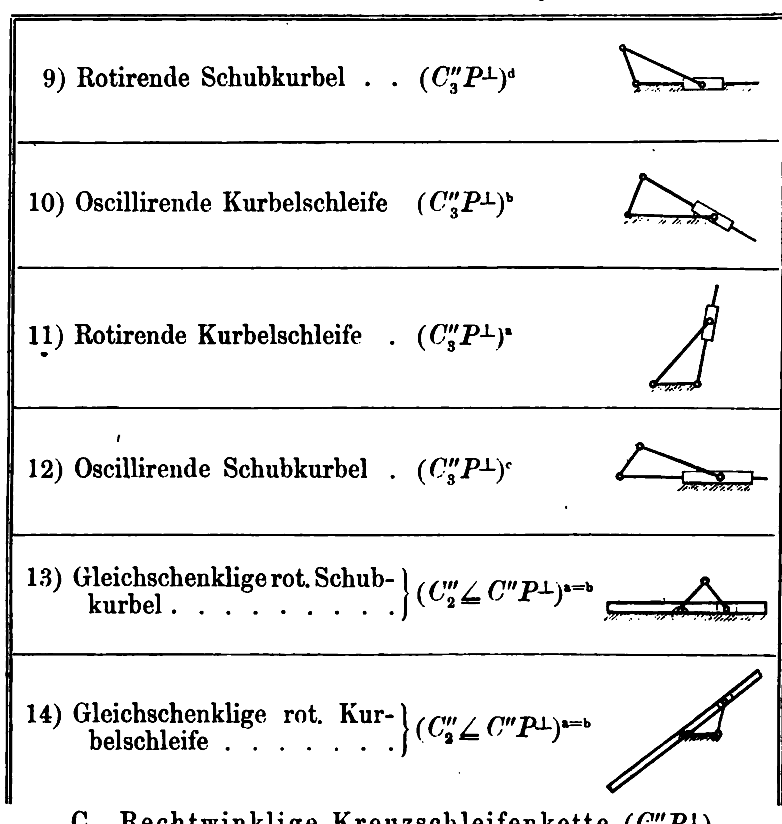
Die Zahl der wichtigen Getriebe, welche sich aus der Kette (C''_4) theils bilden, theils ableiten lassen, hat sich als so gross ergeben, dass eine übersichtliche Zusammenstellung derselben sich

empfiehlt. Dieselbe folgt hier unter Hinzufügung kleiner schematischer Skizzen zu den Getrieben, wobei das festgestellte Glied stets durch Anschraffirung hervorgehoben ist. Die etwa erforderliche höhere Paarung u. s. w. ist dabei indessen weggelassen.

A. Kurbelviereck (C_4'').

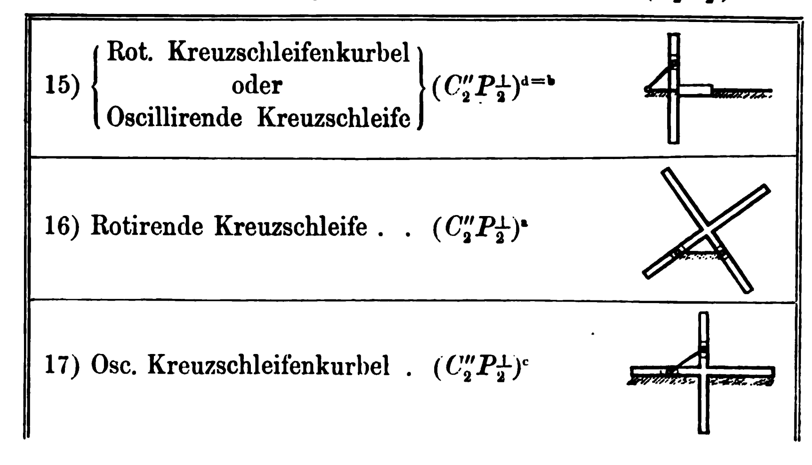
1) Rotirende Bogenschubkurbel	$(C_4'')^{d=b}$
2) Rotirende Doppelkurbel . .	$(C_4'')^{a}$
3) Oscillirende Doppelkurbel . .	$(C_4'')^{c}$
4) Parallelkurbeln	$(C_2'' \parallel C_2'')^{d=b=a=c}$
5) Antiparallelkurbeln, gegenlfg.	$(C_2'' \mathbin{Z} C_2'')^{d=b}$
6) Antiparallelkurbeln, gleichlfg.	$(C_2'' \mathbin{Z} C_2'')^{a=c}$
7) Gleichschenklige rot. Doppelkurbel	$(C_2'' \angle C_2'')^{d=a}$
8) Gleichschenklige osc. Doppelkurbel	$(C_2'' \angle C_2'')^{b=c}$

B. Schubkurbelkette $(C_3''P^{\perp})$.



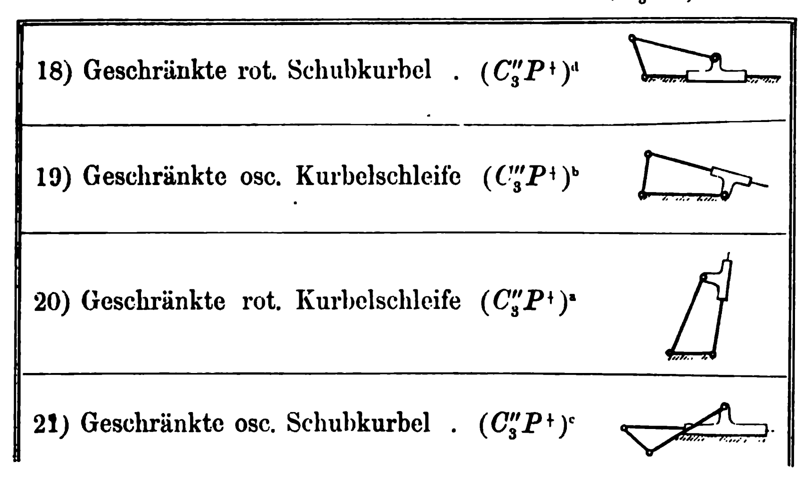
9) Rotirende Schubkurbel . .	$(C_3''P^{\perp})^d$	
10) Oscillirende Kurbelschleife	$(C_3''P^{\perp})^b$	
11) Rotirende Kurbelschleife .	$(C_3''P^{\perp})^a$	
12) Oscillirende Schubkurbel .	$(C_3''P^{\perp})^c$	
13) Gleichschenklige rot. Schubkurbel	$(C_2''\underline{\angle}\, C''P^{\perp})^{a=b}$	
14) Gleichschenklige rot. Kurbelschleife	$(C_2''\underline{\angle}\, C''P^{\perp})^{a=b}$	

C. Rechtwinklige Kreuzschleifenkette $(C_2''P_2^{\perp})$.



15) Rot. Kreuzschleifenkurbel oder Oscillirende Kreuzschleife	$(C_2''P_2^{\perp})^{d=b}$	
16) Rotirende Kreuzschleife . .	$(C_2''P_2^{\perp})^a$	
17) Osc. Kreuzschleifenkurbel .	$(C_2''P_2^{\perp})^c$	

D. Geschränkte Schubkurbelkette $(C_3''P^{+})$.



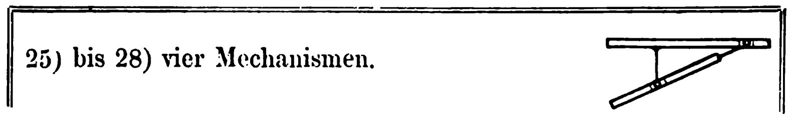
18) Geschränkte rot. Schubkurbel .	$(C_3''P^{+})^d$	
19) Geschränkte osc. Kurbelschleife	$(C_3''P^{+})^b$	
20) Geschränkte rot. Kurbelschleife	$(C_3''P^{+})^a$	
21) Geschränkte osc. Schubkurbel .	$(C_3''P^{+})^c$	

E. Schiefwinklige Kreuzschleifenkette $(C_2''P_2^{\angle})$.

22) Rotirende Scharkreuzkurbel oder Oscillirende Scharkreuzschleife	$(C_2''P_2^{\angle})^{d=b}$	
23) Rotirende Scharkreuzschleife . .	$(C_2''P_2^{\angle})^a$	
24) Oscillirende Scharkreuzkurbel .	$(C_2''P^{\angle})^c$	

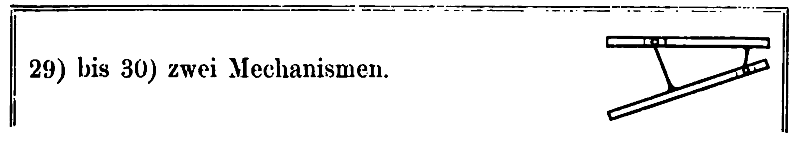
F. Einfach geschränkte Winkelschleifenkette $(CP^{+}CP^{\perp})$.

25) bis 28) vier Mechanismen.



G. Doppelt geschränkte Winkelschleifenkette $(CP^{+})_2$.

29) bis 30) zwei Mechanismen.



Diese Zusammenstellung wird am besten die Ueberzeugung liefern, dass die vorgenommene kinematische Analysirung nothwendig war, um selbst eine so einfach scheinende Kette, wie die Kette (C_4'') und die aus ihr abgeleiteten, kennen zu lernen. Auch zeigt sich hier, wie unabweisbar es war, bestimmte Namen für die am häufigsten vorkommenden der durch die Analyse gefundenen Getriebe zu wählen. Diese Namen sind mit Sorgfalt systematisch gebildet und prägen sich deshalb leicht ein, namentlich, wenn sie von der Formel begleitet sind. Das Abstrahiren vom Unwesentlichen, zu welchen sie Veranlassung geben, fördert den Kinematiker am ersten in der Erkenntniss des eigentlichen Inhaltes der in der Maschinenpraxis sich darbietenden vielgestaltigen Ausführungen. Wir werden übrigens im Folgenden alsbald sehen, dass wir, trotz der ausgeübten Beschränkung auf das Nothwendige, den Reichthum der aus vier Cylinderpaaren herstellbaren Mechanismen noch keineswegs erschöpft haben, vielmehr noch eine neue grosse Familie der letzteren kennen lernen müssen.

§. 75.

Das konische Kurbelviereck $(C_4^{\angle})$.

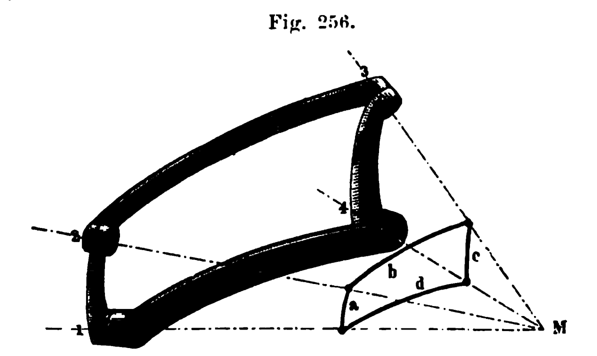
Legt man die Achsen der vier Drehkörperpaare, welche die Kette (C_4'') bildeten, nicht parallel, sondern so, dass sie einander in einem und demselben Punkte schneiden, so bleibt die Kette nach wie vor beweglich und bei übrigens gleichen Umständen auch geschlossen. Die Axoide aber werden dann keine Cylinder, sondern, da sie sämmtlich den Durchschnittspunkt der Drehachsen gemeinschaftlich haben, Kegel; die sämmtlichen Glieder bewegen sich in „konischer Rollung“ gegeneinander, derjenigen Bewegung, welche wir für blosse Körperpaare in §. 10 allgemein betrachtet haben. Bei der Voraussetzung, dass die Gliedlängen — hier gemessen auf einer aus dem Schnittpunkt M der Achsen beschriebenen Kugel als Stücke grösster Kreise — die in §. 65 für die Kette (C_4'') angenommenen Verhältnisse haben, wonach

$$a+b+c>d, \qquad a+d+c>b$$
$$\text{und } a\leqq c,$$

geht die Kette in eine Gestalt über, von welcher Fig. 256 ein Bild gibt. Wir können eine solche Kette ein konisches Kurbelviereck

oder eine viergliedrige konische Kurbelkette nennen. Sie hat mit der cylindrischen einen engen Zusammenhang, ja kann ihr übergeordnet werden, als diejenige Kette, aus welcher die cylin-

Fig. 256.



drische Kurbelkette entsteht, wenn der Schnittpunkt M der Achsen in unendliche Ferne fällt[44]. Die Formel für die Kette lautet:

$$\overbrace{C^{+}\ldots\angle\ldots C^{\pm}_{=}}^{a}\overbrace{C^{-}\ldots\angle\ldots C^{-}_{=}}^{b}\overbrace{C^{+}\ldots\angle\ldots C^{\pm}_{=}}^{c}\overbrace{C^{-}\ldots\angle\ldots C^{-}_{=}}^{d}$$

Auf die engste Form zusammengezogen, nimmt sie die sehr einfache Gestalt ($C^{\angle}_{4}$) an, bei deren Anwendung wir voraussetzen wollen, dass nicht bloss alle vier Achsenpaare überhaupt gegeneinander geneigt seien, sondern ihre Neigungswinkel auch einen gemeinsamen Scheitel haben, wie oben in Fig. 256 angenommen ist.

Die bei dem cylindrischen Kurbelviereck erörterten besonderen Gestaltungen der Kette lassen sich beim konischen Kurbelviereck ebenfalls aufsuchen, treten indessen hier in einigen Beziehungen anders auf als oben. Zunächst wird man für die Gliedlängen a, b, c, d bei ungeändertem Mechanismus immer andere Maasse erhalten, wenn man den Halbmesser des sphärischen Schnittes, auf welchem jene Längen als Bogen grösster Kreise zu messen sind, anders wählt. Konstant bleiben aber dabei die Verhältnisse zwischen den gemessenen Gliedlängen und dem Halbmesser der Sphäre. Diese Verhältnisse sind die den Gliedlängen zukommenden Winkel $1M2$, $2M3$, $3M4$, $4M1$. Statt der Gliedlängen haben wir deshalb die ihnen zukommenden Winkel, die wir auch wieder mit a, b, c, d bezeichnen können, in Betracht zu ziehen.

Die Wandlungen der Gliedlängen, welche wir oben durchführten und bis zur Unendlichkeit derselben trieben, haben hier ihre

entsprechenden Winkelgrössen. Der unendlichen Länge eines Gliedes entspricht hier der Winkel von 90°. Demzufolge aber wird die oben gefundene Eigenthümlichkeit, dass zwei Glieder zwar beide unendlich lang, aber um eine endliche Grösse verschieden waren (§. 73), darin seinen Ausdruck finden, dass das eine Glied rechtwinklig, das andere stumpfwinklig ist. Da aber die Achsen der Glieder immer über das Sphärenzentrum hinaus verlängert zu denken sind, so entspricht dem stumpfen Winkel zwischen zwei Gliedachsen auf der Gegenseite ein spitzer Winkel, wonach denn ein Unterschied zwischen stumpf- und spitzwinkligen Gliedern nicht besteht. Eine ähnliche Vereinfachung gilt von den Polbahnen und Axoiden. Den unendlich fernen Punkten der Polbahnen in der Kette (C_4''), von welchen wir in §. 8 Beispiele vor uns hatten, entsprechen hier solche Punkte, welche um 90° von den Drehachsen abstehen. Demzufolge werden die Axoide hier durchweg allgemeine Kegel von geschlossener Basisfigur.

Unter Beachtung dieser Vorbemerkungen können wir nun die aus dem konischen Kurbelviereck zu bildenden Getriebe unter möglichster Beibehaltung der im vorigen Paragraphen eingehaltenen Ordnung folgendermaassen zusammenstellen.

A. Konisches Kurbelviereck $(C_4^{\angle})$. Fig. 257. Alle Glieder sind kleiner als 90°. Als besondere Formen ergeben sich ebenso wie bei (C_4'') acht Mechanismen, deren Namen die früheren, näher bestimmt durch das Beiwort „konisch", sind. Auch die Formeln übertragen sich analog, indem immer nur das Formzeichen für geneigt an die Stelle desjenigen für parallel tritt. Anwendungen der Mechanismen sind mir nicht bekannt, obwohl zu vermuthen ist, dass Ausführungen, welche unter konstruktivem Beiwerk versteckt sind, vorkommen.

Man hat nicht zu übersehen, dass die besonderen Fälle der Parallelkurbeln und der Antiparallelkurbeln u. s. f. auch übertragbar sind. Die Ueberschreitung der Todpunkte würde ähnliche Vorrichtungen wie oben erforderlich machen. Vereinigte man, entsprechend der Kettenzusammensetzung in Fig 206, zwei konische Parallelkurbelketten, so würde man damit einen Mechanismus erzielen können, welcher eine gleichförmige Drehungsübertragung zwischen zwei Wellen, die einen Winkel einschliessen, herbeiführte. Man hat bekanntlich nach Lösungen dieser Aufgabe gesucht. Die Formel wäre $2\,(C_2^{\angle} \| C_2^{\angle})^d$.

B. Konische Schubkurbelkette ($C_2^{\angle} C_3^{\perp}$). Fig. 258. Die Glieder *d* und *c* sind rechtwinklig, also die Winkel zwischen den Achsen 1 und 4 und zwischen 4 und 3 = 90°. Das für den Anfang

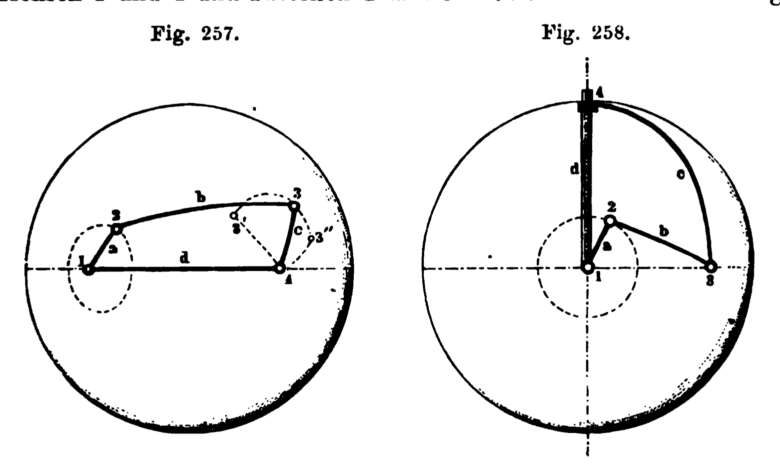


Fig. 257. Fig. 258.

dem Maschinenpraktiker wohl etwas schwierige Verständniss wird gewinnen, wenn Fig. 259 (a. f. S.) zu Hilfe genommen wird. Indem wir nämlich das Prinzip der Zapfenerweiterung zur Anwendung bringen, können wir statt des Armes *M* 3, welcher senkrecht zu der in *M* normal zur Papierfläche zu denkenden Achse 4 steht, den Cylinderabschnitt 4 benutzen, der auf dem ihm gleichen Abschnitt an dem Gliede *d* gleitet. *c* ist nun der Schieber, *d* der Steg, *a* die Kurbel, *b* die Koppel wie früher. Die unterhalb der konischen Schubkurbelkette in die Figur eingetragene cylindrische Kette kann man sich nun sehr deutlich so entstanden denken, dass an derselben der Mittelpunkt *M* in unendliche Ferne gerückt ist. Die vorliegende konische Schubkurbelkette ($C_2^{\angle} C_2^{\perp}$) liefert wie die entsprechende cylindrische Kette vier Hauptformen und zwei Nebenformen von Getrieben, also wie oben sechs Mechanismen. Ihre Namen sind wieder die früheren, nur durch das Beiwort „konisch" näher bestimmt. Anwendungen scheinen nicht vorhanden oder doch selten zu sein.

C. Rechtwinklige Kreuzgelenkkette ($C_3^{\perp} C^{\angle}$). Fig. 260. Die Glieder *b*, *c* und *d* rechtwinklig, *a* allein spitzwinklig. Diese Kette entspricht der Kreuzschleifenkette des cylindrischen Kurbelvierecks, ja lässt sich bei Anwendung der Zapfenerweiterung auch auf eine jener sehr ähnliche Form bringen, Fig. 261. Dem Wesen

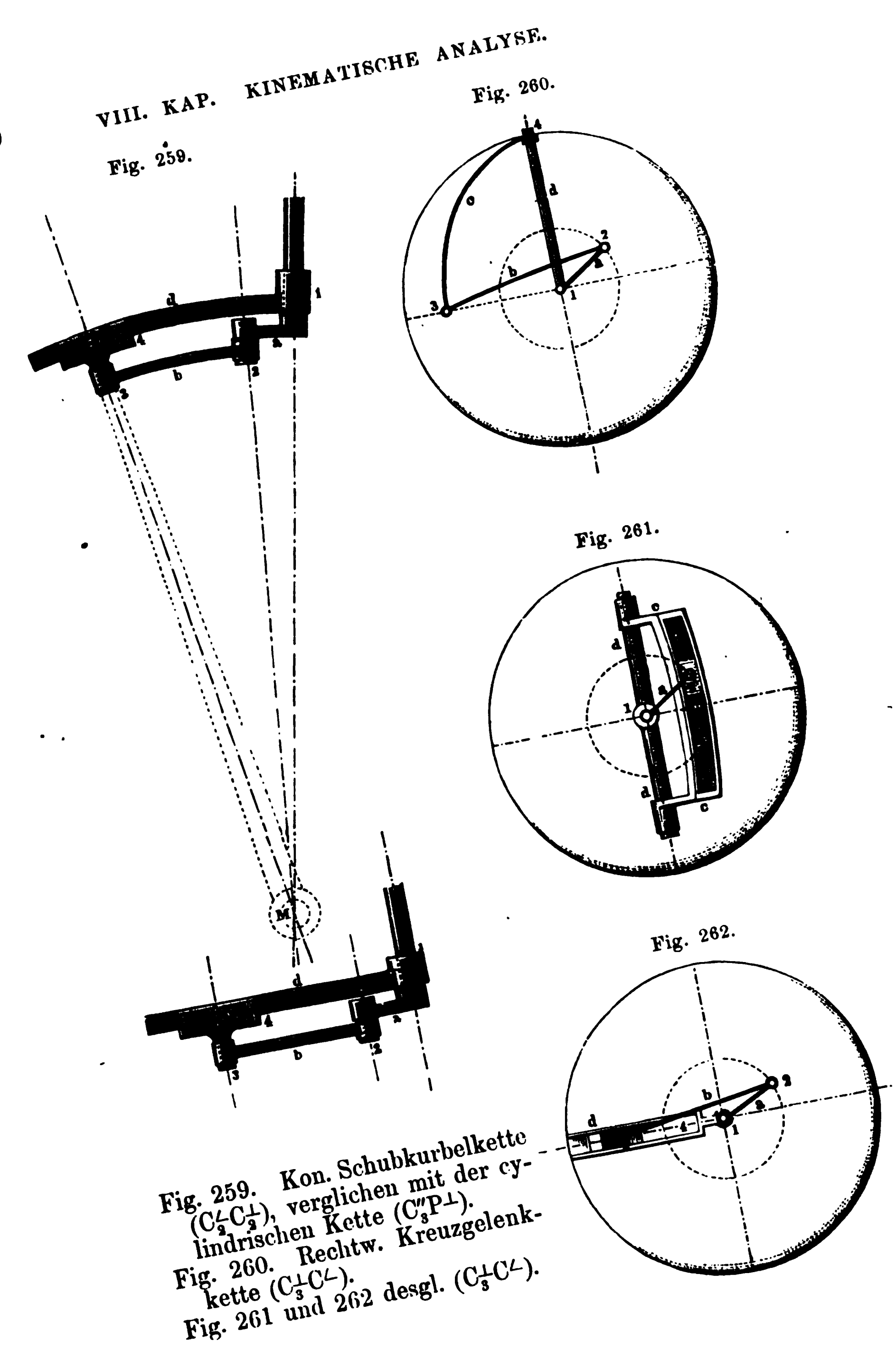


Fig. 259. Kon. Schubkurbelkette $(C_2^{\angle}C_2^{\perp})$, verglichen mit der cylindrischen Kette $(C_3''P^{\perp})$.
Fig. 260. Rechtw. Kreuzgelenkkette $(C_3^{\perp}C^{\angle})$.
Fig. 261 und 262 desgl. $(C_3^{\perp}C^{\angle})$.

nach identisch mit dem vorigen ist das Getriebe in Fig. 262. Die Schleife d ist nichts anderes, ein Abschnitt des Cylinders, welcher in Fig. 261 als gerader Stab ausgeführt ist. Hinsichtlich des Gliedes b ist nicht zu vergessen, dass es 90° umfasst, wonach es denn identisch ist mit der Gleitpfanne b in Fig. 261. Statt des Namens „konische rechtwinklige Kreuzschleife" können wir den kürzeren „rechtwinkliges Kreuzgelenk" wählen, da die kreuzförmige Stellung der Achsen 1 und 4 karakteristisch hervortritt. Die Kette liefert analog der Kreuzschleifenkette drei Mechanismen, nämlich, indem wir die Numerirung von 14 ab fortsetzen:

15) die rotirende Kreuzgelenkkurbel oder das oscillirende Kreuzgelenk . . . $(C_3^{\perp} C^{\llcorner})^{d=b}$

16) das rotirende Kreuzgelenk . . . . $(C_3^{\perp} C^{\llcorner})^{a}$

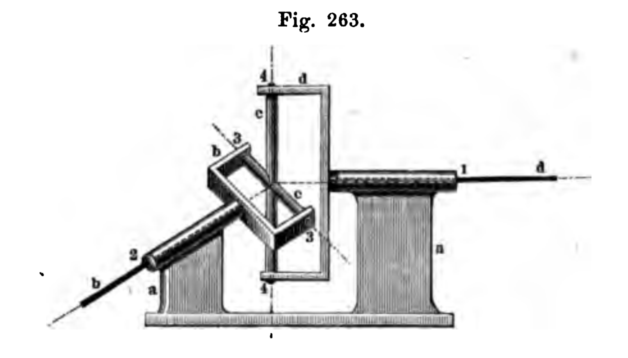
17) die oscillirende Kreuzgelenkkurbel . . . . $(C_3^{\perp} C^{\llcorner})^{c}$

Von diesen Getrieben bietet die Maschinenpraxis mehrere Ausführungen. Eine allgemein gekannte ist die von Nr. 16 in der Form des sogenannten Hooke'schen Schlüssels oder der Cardanischen Kupplung, auch Universalgelenk, von mir insbesondere Kreuzgelenkkupplung genannt*). Schreiben wir nämlich die Formel ausführlich an, so haben wir bei Stellung der Kette auf a:

$$\overbrace{C^{+} \ldots \perp \ldots C^{\pm}_{=}}^{b} \overbrace{C^{-} \ldots \perp \ldots C^{-}_{=}}^{c} \overbrace{C^{+} \ldots \perp \ldots C^{\pm}_{=}}^{d} \underline{\overbrace{C^{-} \ldots \angle \ldots C^{-}}^{a}}.$$

Diese Formel, welche der Kette Fig. 260 entspricht, haben wir bereits in §. 58 für die Kreuzgelenkkupplung, Fig. 263, aufgestellt.

Fig. 263.

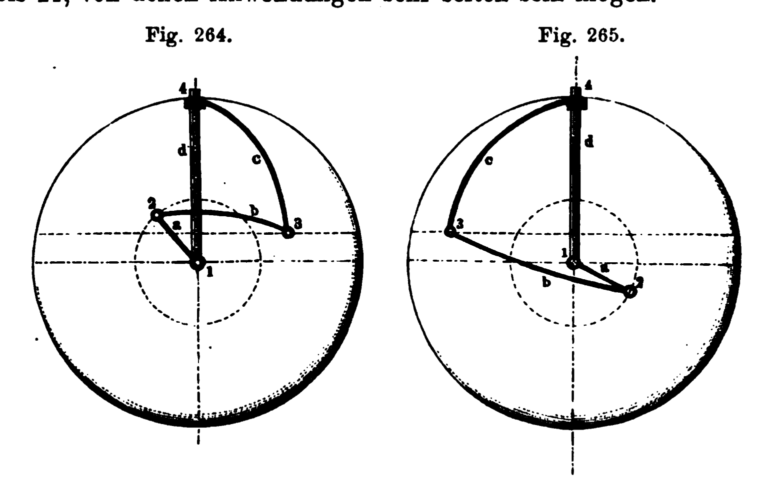


*) Siehe meinen Konstrukteur, III. Aufl. S. 260. Erst hier konnte ich zu dem dort schon angewandten Namen die Motivirung mittheilen.

Da entweder *b* oder *d* als treibend auftritt, lautet die bestimmte Formel $(C_3^{\perp} C^{\angle})^{\frac{a}{b}}$ oder $(C_3^{\perp} C^{\angle})^{\frac{a}{d}}$. Zu bemerken ist wieder, dass die Glieder *b*, *c* und *d* völlig identisch sind, was auch in Fig. 260 ersichtlich ist, in den praktischen Ausführungen der Universalkupplung aber meistens sehr verdeckt ist. Weiter unten kommen wir noch auf mehrere andere sehr merkwürdige Anwendungen der vorliegenden Kette zurück.

D. Geschränkte konische Schubkurbelkette $(C_3^{\angle} C^{\perp})$. Die Schränkung der Schubkurbelkette drückt sich hier dadurch aus, dass nur eines der Glieder, in Fig. 264 der Lenkstab *d*, rechtwinklig wird. Wir erhalten wie oben vier Mechanismen, Nr. 18 bis 21, von denen Anwendungen sehr selten sein mögen.

Fig. 264. Fig. 265.



E. Schiefwinklige Kreuzgelenkkette $(C^{\angle} C^{\perp})_2$ Fig. 265. *a* und *c* sind spitzwinklig, *b* und *d* rechtwinklig. Die Kette entspricht der schiefwinkligen Kreuzschleifenkette und zugleich den Winkel-Schleifenketten unter *F* und *G* des vorigen Paragraphen. Es bilden sich drei Mechanismen, Nr. 22 bis 24, deren Anwendungen selten sind, obwohl vereinzelte derselben vorkommen.

In Summa hat das konische Kurbelviereck hiernach 24 Getriebe, welche 5 Klassen angehören, geliefert. Die grössere Mehrzahl derselben ist bisher unbekannt gewesen. Ob diese nicht angewandten Getriebe praktisch oder unpraktisch zu nennen sind, ist in diesem Augenblicke gleichgültig. Sie werden uns wegen der Sicherheit unserer Analysirung weiter unten noch wichtige Auf-

schlüsse verschaffen. Rechnen wir die hier gefundenen Getriebe zu den im vorigen Paragraphen zusammengestellten hinzu, so erhalten wir insgesammt 54 Mechanismen, die 12 Klassen angehören, als die wesentlichen aus der vollständigen viercylindrigen Kette zu bildenden Getriebe.

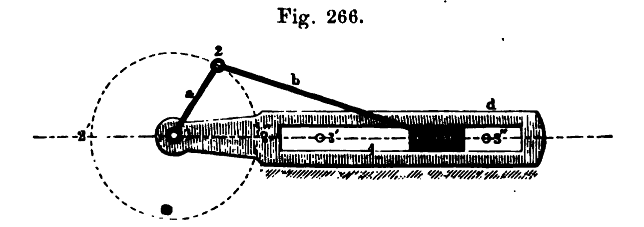
§. 76.

Verminderung der Gliederzahl einer kinematischen Kette.

Wenn man eine vollständige kinematische Kette vor sich hat, und es sich darum handelt, mittelst eines der aus ihr herstellbaren Mechanismen eine Bewegung zu erzeugen, ohne dass es nöthig wäre, die ganze Reihe der im Mechanismus vorkommenden Bewegungen zu benutzen, so kann unter Umständen ein Glied der Kette weggelassen, und dafür Paarung zwischen den gebliebenen Gliedern eingeführt werden. Die Gliederzahl der Kette hat dann abgenommen, ohne dass die geforderte Bewegung dadurch berührt worden wäre. Offenbar kann dieses Verfahren mitunter von Vortheil sein. Gehen wir sofort zu einem Beispiel über.

Gesetzt, es sei mittelst der rotirenden Schubkurbel $(C_3''P^{\perp})^d$, **Fig.** 266, eine Schubbewegung zu erzeugen, und es soll nur allein

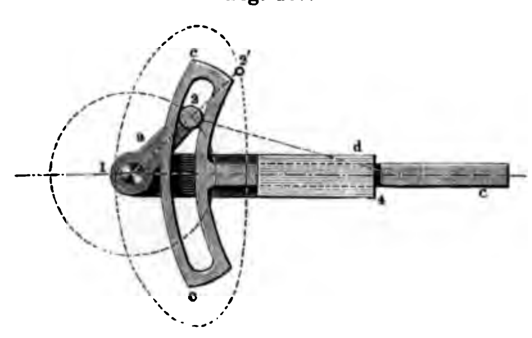
Fig. 266.



diese Schubbewegung des Schiebers *c* verwerthet werden, so kann die Koppel *b* allenfalls weggelassen, und dafür Paarung zwischen der Kurbel *a* und dem Schieber *c* angewandt werden. Diese lässt sich z. B. so bewirken, dass man nach wie vor bei 2 einen cylindrischen Zapfen von geeigneter Dicke anbringt, ausserdem aber dessen Umhüllungsfigur an dem Schieber, eine mit letzterem festverbundene Bogenschleife, welche den Zapfen beiderseits berührt,

Fig. 267, zur Ausführung bringt. Sie ist die Umhüllungsfigur des Zapfens, bildet also mit ihm ein Elementenpaar, und zwar ein höheres. Es wird am einfachsten sein, gerade diese Bogenschleife,


Fig. 267.



beschrieben aus dem Drehpunkt der Koppel, und den genannten Zapfen anzuwenden, da Schleifen für weiter ab vom Zentrum 1 gelegene Zapfen sehr komplizirt ausfallen würden, wie die punktirte Bahn des Punktes 2′ z. B. andeutet. Wird die Kette in der gedachten einfachen Weise bei Weglassung des Gliedes *b* zum Schluss gebracht, so lautet ihre vollständige Formel bei Stellung auf *d*:

$$\overbrace{C^+ \ldots \| \ldots C^+}^{a}, \overbrace{A^\pm \ldots \perp \ldots P^-_=}^{c}\underline{\overbrace{P^+ \ldots \perp \ldots C^-_=}^{d}}$$

Man kann diese Kette als wesentlich verschieden von der früheren für $(C''_3 P^\perp)^d$:

$$C^+ \ldots \| \ldots C^+_= C^- \ldots \| \ldots C^-_= C^+ \ldots \perp \ldots P^-_= \underline{P^+ \ldots \perp \ldots C^-_=}$$

bezeichnen. Indessen, da sie keinerlei neue Bewegung liefert, vielmehr nur weniger leistet, als jene, so wollen wir für sie nicht eine neue Klasse schaffen, sondern sie so ansehen, als sei sie aus der viergliedrigen Kette entstanden, und zwar dadurch, dass das Glied *b* aus ihr herausgenommen worden. Wir wollen dieses Herausnehmen eines Gliedes und die Ersetzung seiner Funktion durch höhere Paarung eine Verminderung der vollständigeren Kette nennen, und wollen dies auch in der konzentrirten Formel der neuen Kette andeuten, indem wir sie schreiben:

$$(C''_3 P^\perp) - b.$$

Die so verminderte Kette hat also nur drei Glieder; sie kann demnach auch nur auf drei Weisen aufgestellt werden, d. h. liefert

nur drei Mechanismen. Sie sind: $(C_3''P^{\perp})^d - b$, $(C_3''P^{\perp})^a - b$, und $(C_3''P^{\perp})^c - b$, in Worten: die rotirende Schubkurbel, die rotirende Kurbelschleife und die oscillirende Schubkurbel. Alle drei Mechanismen kommen in der besprochenen Form wirklich vor.

Es kann indessen auch jedes andere der vier Glieder statt des Gliedes b weggenommen werden, vorausgesetzt, dass man die dadurch ausfallende Bewegung nicht zu verwerthen beabsichtigt. Die folgenden beiden Figuren zeigen zwei Ausführungen der um den

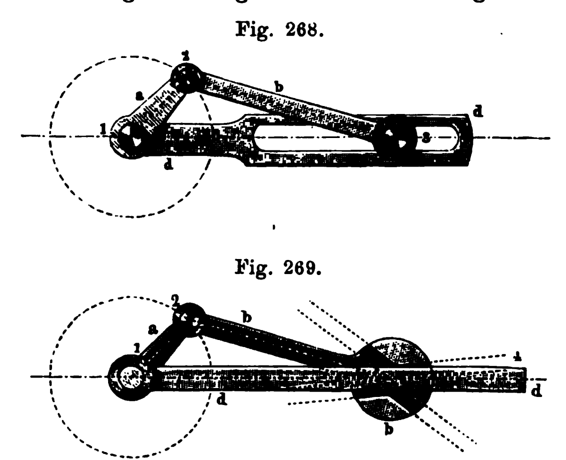


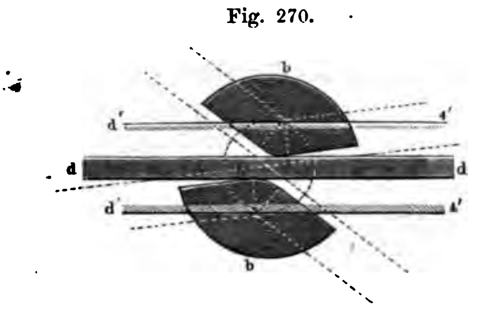
Fig. 268.

Fig. 269.

Schieber c verminderten Kette $(C_3''P^{\perp})$, stellen also die Kette $(C_3''P^{\perp}) - c$ dar. In der ersten der beiden Ausführungen ist die Paarung, welche den Ausfall von c zu decken bestimmt ist, so gewählt, dass am Schieberende der Koppel ein mit dem Zapfen 3 konaxialer Cylinder angebracht ist, dessen Umhüllungsfigur am Stege eine prismatische Schleife ist, also als **negatives** Prisma ausgeführt ist. In Fig. 269 dagegen ist der Steg d mit einem **positiven** Prisma versehen, und dessen Umhüllungsfigur am Koppelende angebracht. Letztere gestaltet sich als eine X-förmige Höhlung, welche nur in den Punkten des stärksten Ausschlages der Koppel schliessend anliegt, in den übrigen Stellungen aber dem Prisma des Steges etwas Spielraum lässt, also dann kraftschlüssig ist. Wäre das Prisma an d unendlich dünn, so würde der Paarschluss vollkommen sein. Die in Fig. 269 dargestellte Ausführungsform findet sich in der Praxis vor, meistens indessen mit einer starken Abrundung der Kanten an b. Man kann sich diese Abrundung, deren genauere Formgebung nicht unwichtig ist,

auf folgende Weise entstanden denken, Fig. 270. Hat man zuerst für das positive, Prisma am Stege d eine ziemlich grosse Breitenabmessung angenommen, und dafür die X-förmige Spalte am Koppelende aufgesucht, so kann man nach den Regeln des §. 35 auch Aequidistanten der gefundenen Profile, und unter diesen solche zur Ausführung bringen, welche ein schmäleres Prisma, als das erstgewählte, für d ergeben. Die Aequidistante für das X-förmige Profil an der Koppel ergibt aber dann die kreisförmige Abrundung an jeder der beiden inneren Kanten des Profils, wie die Figur deutlich erkennen lässt. Auch hier bleibt indessen die Unvollkommenheit der Ausführung bestehen, wonach in allen ausser den Stellungen des stärksten Ausschlages zwischen b und d ein Spielraum vorhanden bleibt.

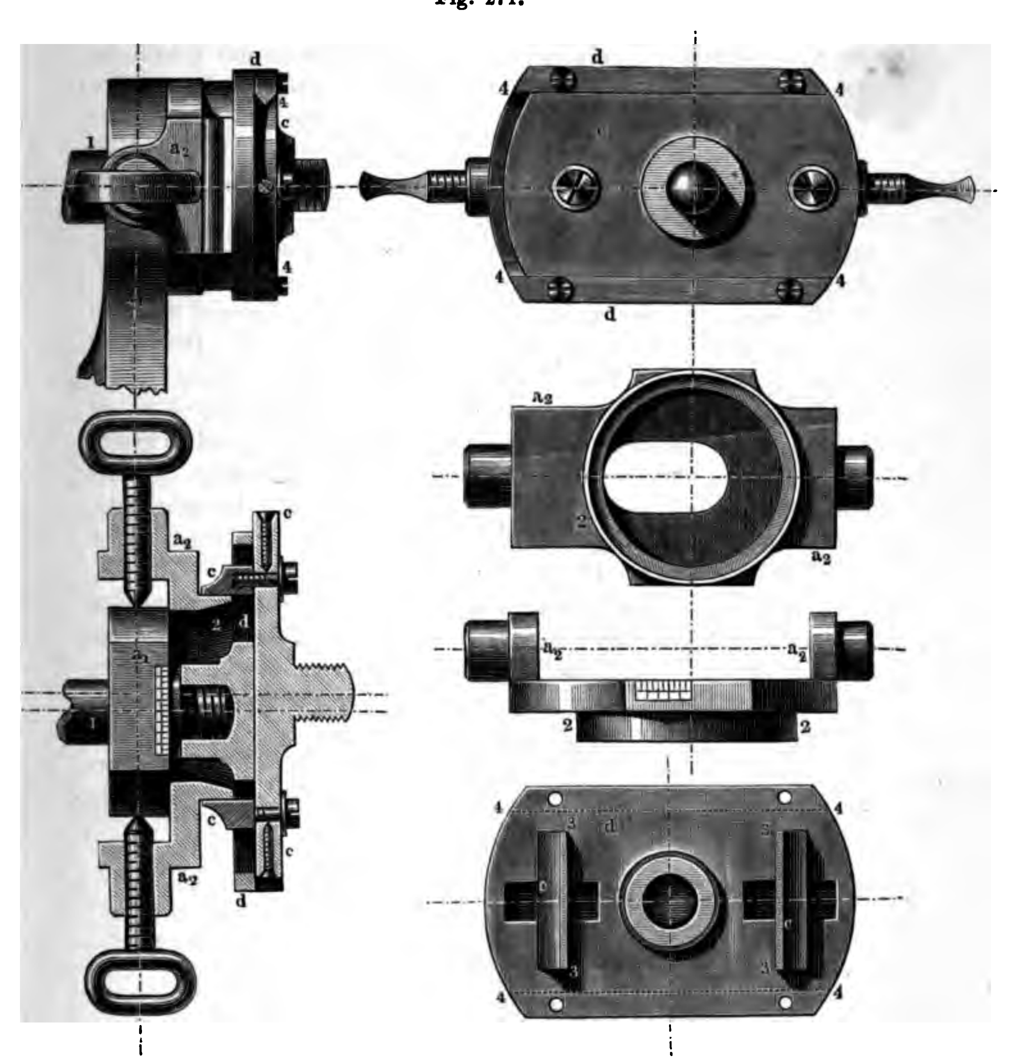
Fig. 270.



Ein bemerkenswerthes Beispiel einer verminderten Kurbelkette, welches praktisch sehr verbreitet ist, sei hier noch angeführt; es ist die gewöhnliche Ausführungsform des Leonardo'schen Ovalwerkes, von welcher schon §. 72 die Rede war, und die in Fig. 271 dargestellt ist. Die Verminderung, welche hier stattgefunden hat, ist die der rotirenden Kreuzschleife um den Schieber b, liefert also diejenige Form des Mechanismus, welche man aus demjenigen in Fig. 267 erhalten würde, wenn man daselbst den Krümmungshalbmesser der bogenförmigen Schleife unendlich gross nähme. Die abgekürzte allgemeine Formel lautet $(C_2'' P_2^{\perp})^a - b$, die besondere $(C_2'' P_2^{\perp})^{\frac{a}{d}} - b$, indem durch die Schleife d, welche sich um den Zapfen 1 dreht, die Bewegung eingeleitet wird (vergl. das Ovalwerk in §. 72, wo b statt d als treibendes Glied dient). In der That sehen wir in dem Ende a_1 des Spindelstockes und dem mittelst der beiden Körnerschrauben daran befestigten Stückes a_2 die zum Stege gewordene Kurbel a vor uns. In ihr ist mit dem Zapfen 1 gelagert die Schleife d mit dem Hohlprisma 4, geschrieben $C^+ \ldots \perp \ldots P^-$. Die Kreuzschleife c, geschrieben $P^+ \ldots \perp \ldots P^-$, besteht hier aus dem in 4 gleitenden Vollprisma und den beiden, ein Hohlprisma bildenden Backenstücken 3, 3 und 3, 3, welche namentlich in den

beiden unteren Theilen der Figur deutlich erkennbar sind. Sie umschliessen den erheblich erweiterten Zapfen 2 des Steges *a*,

Fig. 271.

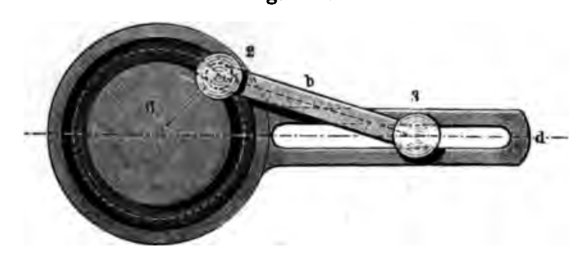


welcher Zapfen nach Wegminderung des Schiebers *b* mit dem Prisma 3 zu einem höheren Paare zusammengetreten ist. Zapfenerweiterung und Kettenverminderung finden also hier gleichzeitig

Anwendung. Vermöge der beiden Körnerschrauben und der angebrachten Skala kann man mit Leichtigkeit die Länge des Stückes a nach Wunsch einstellen; der längliche Ausschnitt des Stückes a_2 lässt der Spindel 1, d, 4 den nöthigen Spielraum. Vorne endigt die Kreuzschleife c in ein Gewinde, auf welches in der gebräuchlichen Weise die Drehfutter und dergleichen aufgebracht werden. Das vorliegende Beispiel zeigt in hohem Grade, wie durch konstruktives Beiwerk der eigentliche Inhalt verdeckt werden kann. Man kann wohl behaupten, dass das Leonardo'sche Ovalwerk, so häufig es auch angewandt ist, bisher wenig verstanden worden ist. Auffallend ist das zähe Festhalten an der für die dauernde Erhaltung des Werkes wirklich ungünstigen Verminderung um b. Der Cylinder 2 sowohl, als die Gleitbacken 3, 3 nutzen sich wegen ihrer zu geringen Berührungsfläche sehr bald ab, worauf die Bewegung ungenau wird. Die in Fig. 247 dargestellte Einrichtung*), bei welcher die Verminderung nicht angewandt ist, also diejenige, auf welche unsere theoretische Untersuchung unmittelbar und in erster Linie geführt hat, ist dem Uebelstande nicht ausgesetzt. Sie ist auch wohl anderweitig noch bequemer als die hergebrachte, namentlich was die ungezwungene Verlegung der Prismen 3 und 4 auf den Rücken einer Planscheibe betrifft.

Lässt sich, wie wir gesehen haben, in einer viergliedrigen Kette die Gliederzahl auf drei vermindern, so muss sich eine dreigliedrige unter Umständen auf zwei Glieder vermindern lassen. Ja dies muss auch mit einer bereits von vier auf drei Glieder verminderten Kette, z. B. mit einer der vorhin betrachteten, angehen. In der That ist dies der Fall, wovon wir uns an Beispielen sofort überzeugen können. Fig. 272 führt die in Fig. 268 dargestellte Kette

Fig. 272.



*) Sie ist diejenige, welche ich dem für die kinematische Sammlung der Königl. Gewerbe-Akademie hergestellten Modell gegeben habe.

um abermals ein Glied, nämlich um die Kurbel *a* vermindert, vor. Es hat zu dem Ende Paarung eines Vollcylinders am Ende 2 der Koppel mit einem hohlen Cylinderring am Stege, beschrieben aus dem Mittelpunkt von 1, stattgefunden. Die Kette heisst nunmehr:

$$(C_3''P^{\perp}) - a - c.$$

Sie ist nur noch zweigliedrig, d. h. mit anderen Worten: sie ist auf ein Elementenpaar herabgemindert, bestehend aus den Elementen *b* und *d*. Es können demnach auch nur noch zwei Aufstellungen mit ihr vorgenommen werden, die auf *d* und die auf *b*. Erstere liefert die rotirende Schubkurbel $(C_3''P^{\perp})^d - a - c$, und würde etwa da anwendbar sein, wo man bloss die Bewegungen der Koppel sollte verwerthen wollen; die andere Aufstellung liefert die oscillirende Kurbelschleife, von welcher nur die Schleife *d* als benutztes Stück übrig ist.

Ein anderes Beispiel liefert uns Fig. 273, eine Vorrichtung darstellend, welche uns ganz im Anfang unserer Untersuchungen

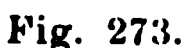


Fig. 273.



schon einmal beschäftigt hat. Wie man sieht, handelt es sich um eine nur theilweise ausgeführte zweimal verminderte schiefe Kreuzschleifenkette nach Fig. 253. Das mit *a a d d* bezeichnete Stück ist die Scharkreuzschleife, das mit *b p c* bezeichnete die Kurbel. Die Formel würde lauten:

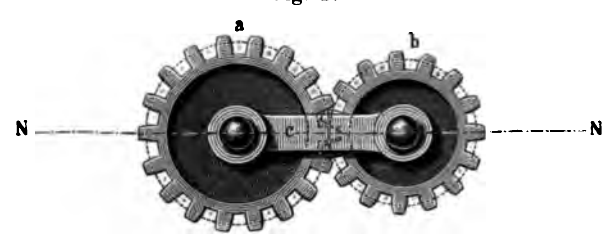
$$(C_2''P_2^{\llcorner}) - b - d.$$

Wir wissen, beiläufig bemerkt, aus den inzwischen angestellten Untersuchungen, dass die Kurve, in welcher sich der Punkt *p* gegen *a d* bewegt, eine Ellipse ist. Die hier wie vorhin zum Ersatz des weggefallenen Gliedes angewandte Paarung ist eine höhere, also das schliesslich durch die Verminderung erhaltene Paar ein höheres Elementenpaar. Die Verminderung noch weiter zu treiben, ist

unmöglich, da wir bis zu dem Minimum der machinalen Körperverbindung gelangt sind.

Von der Kettenverminderung macht die Maschinenpraxis auch bei anderen kinematischen Ketten Gebrauch. Um noch ein Beispiel anzuführen, verweise ich auf die Zahnräderkette Fig. 274, welche

Fig. 274.



wir durch Kettenverminderung in das blosse höhere Paar, welches Fig. 275 darstellt, übergeführt denken können. Während die vollständige Kette die Formel $(C_z^+ C_2'')$ hat, haben wir das nach der Wegminderung des Steges c übrig bleibende Paar zu schreiben: $(C_z^+ C_2'') - c$.

Fig. 275.



Es soll nicht behauptet werden, dass die verminderten Ketten wirklich aus den vollständigen entstanden seien. Im Gegentheil haben wir Ursache anzunehmen, wie oben (Kap. VI.) gezeigt wurde, dass der eigentliche Entwicklungsgang im grossen Ganzen der umgekehrte war. Das darf uns aber nicht hindern, die vorliegende deduktive Auffassung, welche geeignet ist, den Ueberblick zu

erleichtern und endlose Wiederholungen auszuschliessen, zur Anwendung zu bringen. Wollte man nämlich die verminderten Ketten immer wieder für sich als besondere kinematische Gliederungen betrachten, so würde man, namentlich bei der Vielartigkeit, in welcher die höhere Paarung der übrigbleibenden Glieder vollzogen werden kann, eine ungeheure Fülle von Kombinationen erhalten, welche schliesslich doch keine einzige Bewegung verwirklichen könnten, die nicht schon in der vollständigen Kette enthalten wäre. Somit hat die grundsätzliche Aufnahme der Kettenverminderung in die kinematischen Verfahrungsweisen thatsächlich eine grosse Vereinfachung der Systematik zur Folge. Bei zusammengesetzten Mechanismen kommt die Kettenverminderung oftmals sehr vortheilhaft zur Verwendung. Es ist eine interessante und sehr lehrreiche Aufgabe der angewandten Kinematik, die Analyse solcher Verbindungen genau durchzuführen [45].

§. 77.

Vermehrung der Gliederzahl einer kinematischen Kette.

Der soeben behandelten Kettenverminderung steht logisch als Gegensatz die Kettenvermehrung gegenüber. Zunächst kann eine thatsächlich verminderte Kette durch Vermehrung ihrer Gliederzahl wieder auf ihren vollständigen Stand gebracht werden. Aber auch über diesen hinaus lässt sich offenbar das Verfahren fortsetzen, und zwar dadurch, dass man ein vorhandenes Paar durch Einschiebung eines Gliedes, welches die Bewegungsweise der beiden Körper nicht ändert, mit dem eingeschobenen Stück verkettet. Hatte die Kette vorher schon das Maximum der Gliederzahl, bei welcher sie noch geschlossen bleibt, erreicht, und soll dennoch vermehrt werden, so muss die neue Kette eine zusammengesetzte werden. Im allgemeinen führt demnach dieser Weg in das Gebiet der zusammengesetzten Ketten, die uns für den Augenblick noch weniger zu beschäftigen haben. Als Beispiel sei nur angeführt, dass die sogenannten Gelenkgeradführungen, durch welche man in Kurbelgetrieben die Prismenführungen ersetzt, solche Kettenvermehrungen sind: Die Wattische Geradführung, die Evans'sche u. a. m. ersetzen ein Prismenpaar durch eine kinematische Kette, welche nur Achsendrehungen hat, also nur Dreh-

körperpaare enthält, im Grunde also nichts anderes ist, als wiederum ein Kurbelgetriebe. Auch kann es eine Kettenvermehrung genannt werden, wenn ein Zahnräderpaar von sehr grosser Uebersetzungszahl durch mehrere zu einer Kette vereinigte Räderpaare, auf welche das Uebersetzungsverhältniss vertheilt worden, ersetzt wird. Die Praxis macht, wie schon aus diesen Beispielen hervorgeht, von dem Prinzip der Vermehrung der Kettenglieder einen weitgehenden Gebrauch. Hier wollen wir zunächst nicht weiter auf den Gegenstand eingehen, nachdem wir den zur Anwendung kommenden Grundsatz allgemein festgestellt haben. In der That ist die weitere Ausführung auch mehr Sache der angewandten, als der theoretischen Kinematik.

NEUNTES KAPITEL.

ANALYSIRUNG DER KURBEL-KAPSELWERKE.

„Zahllose Versuche sind gemacht, das Problem der rotirenden Dampfmaschine zu lösen, jedoch bis zum heutigen Tage ohne zufriedenstellenden Erfolg."

Karmarsch.

§. 78.

Verkettung der Kurbelgetriebe mit Druckkraft-Organen.

Nachdem wir im vorigen Kapitel bereits die Anwendungsweise der kinematischen Analyse an dem durchgeführten Beispiel des reinen Kurbelgetriebes kennen gelernt haben, wollen wir hier die Untersuchung ganz derselben Mechanismenklasse noch um einen Schritt weiter in die Sphäre der Anwendungen lenken, um zu ermessen, welchen Werth die Analysirung für das praktische Maschinenwesen haben könne. Erst nach voller Durchführung eines solchen Versuches wird die Bahn zur Benutzung derselben genügend geebnet sein.

Die Kurbelgetriebe mit ihrem bunten Formenreichthum finden in der Maschinenpraxis zahlreiche Verwendungen. Eine ganz besondere Rolle unter diesen spielen diejenigen, bei welchen ein Druckkraftorgan — Wasser, atmosphärische Luft, Wasserdampf, Leuchtgas u. s. w. — mit dem Kurbelgetriebe kinematisch vereinigt wird, sei es um eine Maschine zur Fortbewegung des Druckkraft-Organes, eine Pumpe, zu erzeugen, sei es, um das Gegenstück, eine durch das Druckkraft-Organ betriebene Kraftmaschine, hervorzubrin-

körperpaare enthält, im Grunde also nichts anderes ist, als wiederum ein Kurbelgetriebe. Auch kann es eine Kettenvermehrung genannt werden, wenn ein Zahnräderpaar von sehr grosser Uebersetzungszahl durch mehrere zu einer Kette vereinigte Räderpaare, auf welche das Uebersetzungsverhältniss vertheilt worden, ersetzt wird. Die Praxis macht, wie schon aus diesen Beispielen hervorgeht, von dem Prinzip der Vermehrung der Kettenglieder einen weitgehenden Gebrauch. Hier wollen wir zunächst nicht weiter auf den Gegenstand eingehen, nachdem wir den zur Anwendung kommenden Grundsatz allgemein festgestellt haben. In der That ist die weitere Ausführung auch mehr Sache der angewandten, als der theoretischen Kinematik.

NEUNTES KAPITEL.

ANALYSIRUNG DER KURBEL-KAPSELWERKE.

„Zahllose Versuche sind gemacht, das Problem der rotirenden Dampfmaschine zu lösen, jedoch bis zum heutigen Tage ohne zufriedenstellenden Erfolg."
Karmarsch.

§. 78.

Verkettung der Kurbelgetriebe mit Druckkraft-Organen.

Nachdem wir im vorigen Kapitel bereits die Anwendungsweise der kinematischen Analyse an dem durchgeführten Beispiel des reinen Kurbelgetriebes kennen gelernt haben, wollen wir hier die Untersuchung ganz derselben Mechanismenklasse noch um einen Schritt weiter in die Sphäre der Anwendungen lenken, um zu ermessen, welchen Werth die Analysirung für das praktische Maschinenwesen haben könne. Erst nach voller Durchführung eines solchen Versuches wird die Bahn zur Benutzung derselben genügend geebnet sein.

Die Kurbelgetriebe mit ihrem bunten Formenreichthum finden in der Maschinenpraxis zahlreiche Verwendungen. Eine ganz besondere Rolle unter diesen spielen diejenigen, bei welchen ein Druckkraftorgan — Wasser, atmosphärische Luft, Wasserdampf, Leuchtgas u. s. w. — mit dem Kurbelgetriebe kinematisch vereinigt wird, sei es um eine Maschine zur Fortbewegung des Druckkraft-Organes, eine Pumpe, zu erzeugen, sei es, um das Gegenstück, eine durch das Druckkraft-Organ betriebene Kraftmaschine, hervorzubrin-

gen. Für beide Zwecke, welche einleuchtendermaassen eine enge Verwandtschaft der zu bildenden Kombinationen voraussetzen, hat die bisherige Maschinenpraxis eine grosse Mannigfaltigkeit der gedachten Verkettungen verwirklicht. Zugleich aber gibt es vielleicht kein Gebiet, auf welchem dieselbe unklarer, unsicherer geschaffen hätte, als gerade hier. Ihr Verfahren ist beinahe vollständig ein Tappen im Finstern zu nennen, ohne jedes Prinzip, ohne Verständniss ihres Weges, ohne Verständniss dessen, was sie gefunden hat. So hat sie geschaffen und schafft täglich noch eine solche Menge von Vorrichtungen immer für denselben Zweck, dass es fast unmöglich scheint, das Aufgespeicherte auch nur zu ordnen oder dasselbe in dem Gedächtnisse eines Einzelnen unterzubringen. Vieles zu der Massenhaftigkeit hat die leidenschaftliche Richtung auf die „rotirende“ Dampfmaschine oder Pumpe beigetragen. Diese Richtung hat manches Nutzlose oder nutzlos Erscheinende hervorgebracht und viel Denkkraft und Kapital verzehrt. Häufig ist deshalb auch schon von ihr abgemahnt worden, ohne dass es eigentlich Erfolg gehabt hätte. Vom Standpunkt der Kinematik indessen kann in den Warnungsruf nicht unbedingt eingestimmt werden. Zunächst wird dieser Ruf von den eifrigsten Grüblern nicht vernommen oder überhört. Sodann kann das Aufsuchen der möglichen Kombinationen im Grunde nicht schaden, wennschon der Nutzen weit hinter der Erwartung der Suchenden zurückbleiben mag. Endlich aber ist es so lange ungerechtfertigt, den empirischen Versuchen Zügel anlegen zu wollen, als nicht die theoretische Auffassungsweise im Stande ist, ebensoviel oder mehr selbst hervorzubringen, oder doch den Werth oder Unwerth des Erreichbaren mit Sicherheit zu beurtheilen.

Hierzu aber liefert die Kinematik die ersten und wichtigsten Anhaltpunkte, indem die kinematische Analyse im Stande ist, den eigentlichen Inhalt der Mechanismen anzugeben. Dieser Aufgabe wollen wir uns jetzt hinsichtlich der mit den Kurbelgetrieben gebildeten Druckkraftorgan-Maschinen zuwenden.

Das Verfahren zur Bildung einer solchen Maschine zerfällt in zwei Theile. Der erste besteht a) in der Bildung eines Gefässes oder einer Kapsel aus einem der Kettenglieder und b) eines hineinpassenden Verdrängers oder Kolbens aus einem oder auch zwei anderen Kettengliedern, welche Theile bei ihrer relativen Bewegung das Druckkraftorgan bald zwischen sich treten lassen, bald wieder verdrängen. Der zweite Theil des Verfahrens besteht in der An-

bringung kinematischer Einrichtungen zum periodischen Oeffnen und Schliessen der Gefässräume. Diese letzteren Einrichtungen können, wie es bei der Dampfmaschine immer schon geschieht, für die ganze Reihe der zu betrachtenden Maschinen unter dem Namen der Steuerung zusammengefasst werden.

Kapsel und Verdränger oder Kolben bilden mit der (tropfbaren oder gasförmigen) Flüssigkeit eine kinematische Verkettung, welche sich mit der des Kurbelgetriebes zu einer zusammengesetzten Kette vereinigt, die unter Umständen eine weitläufige Schreibung erfordern kann. Wir können diese letztere aber hier umgehen, indem wir zunächst nur die Bildung von Gefäss und Kolben ins Auge fassen, die Flüssigkeit selbst aber ausser Betracht lassen. Es wird dies für unsere Betrachtung vollkommen genügen, und zugleich die Uebersichtlichkeit des Ganzen wesentlich erhöhen. Ein Kurbelgetriebe, dessen Glieder so gestaltet sind, dass sie die zur Flüssigkeitsbergung und -Bewegung geeigneten Formen von Kapsel und Kolben an sich tragen, wollen wir ein Kurbel-Kapselwerk nennen. Hinsichtlich der Steuerung können wir uns überall sehr kurz fassen, da dieselbe das Wesen der einzelnen Maschine nicht bestimmt; kurze Andeutungen über ihre allgemeine Einrichtung werden durchweg für das zu erzielende Verständniss ausreichen. Auf die eigentliche kinematische Bedeutung derselben, sowie auf die wahre kinematische Rolle des Druckkraftorganes in den vorliegenden Fällen werden wir erst weiter unten (Kap. XI und XII) eingehen.

§. 79.

Kurbel-Kapselwerke aus der rotirenden Schubkurbel.

Taf. IV. Fig. 1 bis 8. Taf. IV.

Als die Ordnung, in welcher wir die Kurbel-Kapselwerke besprechen können, bietet sich die in §. 74 innegehaltene systematische Reihenfolge der Mechanismen so zu sagen von selbst dar. Dennoch will ich einen andern Weg einschlagen, nämlich den, mit der bekanntesten Anordnung, die jedem der Leser geläufig ist, derjenigen der gewöhnlichen Dampfmaschine, zu beginnen, um die Schwierigkeiten der in der That nicht leichten Analysirung möglichst zu vermindern. Wir stellen deshalb die Kette $(C_3''P^{\perp})$ voran. Die erste der Aufstellungen dieser Kette ist die auf d; sie liefert

den Mechanismus der rotirenden Schubkurbel, geschrieben $(C_3''P^{\perp})^d$. Acht Kurbel-Kapselwerke, welche aus diesem Getriebe gebildet sind, stellen die Figuren 1 bis 8 unserer Tafel IV schematisch dar. Wir wollen dieselben einzeln besprechen.

Fig. 1 zeigt eine ganz gebräuchliche Anordnung für Dampfmaschinen oder Pumpen. Das Glied, welches zum Theil zur Kapsel ausgebildet ist, ist der Steg *d*; oberhalb ist es als Führungsprisma für den Schieber *c*, unterhalb als Hohlcylinder (Dampfcylinder, Pumpenstiefel) gestaltet. In ihm bewegt sich dicht schliessend das als Stempel oder Kolben ausgebildete untere Ende des Schiebers *c*. Die gefiederten Pfeile deuten hier wie in den folgenden Figuren die Zu- und Abströmungsrichtung der Flüssigkeit an, wenn die Kurbel *a* sich in der Richtung des beigefügten ungefiederten Pfeiles bewegt. Die Steuerung geschieht, wenn die Maschine als Pumpe dienen soll, fast immer selbstthätig, indem man durch den Flüssigkeitsdruck die Ventile, welche den Kapsel-Inhalt von den übrigen Theilen der Flüssigkeit trennen, öffnen und schliessen lässt. Soll dagegen die Maschine als Kraftmaschine wirken, so müssen die Ventile durch eine besondere kinematische Kette, das Steuerungsgetriebe, bewegt werden. Manchmal auch hat man bei Pumpen, den sogenannten Schieberpumpen, diesen besonderen Steuerungsbetrieb benutzt. Es darf nicht vergessen werden, dass die kinematische Grundbedingung für die Form der Kapsel nur die ist, dass dieselbe prismatisch sein muss; deshalb ist die Anwendung des Kreiscylinders als Grundform nebensächlich und Bequemlichkeitsrücksichten zuzuschreiben. Nichtsdestoweniger hat aus dieser Nebenform sich der gebräuchliche Name des Stückes „Dampfcylinder", „Pumpencylinder", etc. gebildet. Bei den Kastengebläsen, die aus Brettern zusammengefügte Kapseln besitzen, sind es ebenfalls die Bequemlichkeitsrücksichten, welche dort auf das Prisma von quadratischer Grundfläche geführt haben. Auf die Stellung der Kette gegen den Horizont, die Horizontirung wollen wir es nennen, kommt es nicht an. Deshalb zählt Fig. 1 auch für die liegenden Dampfmaschinen und Pumpen, auch für die schräge liegenden, kopfüber gestellten u. s. w., welche zwar in der Praxis gelegentlich als gesonderte „Systeme" gezählt werden, kinematisch indessen nicht von einander zu trennen sind. Bemerkenswerth ist aber noch ein besonderer Punkt; dies ist die sogenannte Doppeltwirkung des Kolbens. Für unsere Zwecke müssen wir dieselbe genauer begrifflich feststellen: sie besteht darin, dass der Verdrän-

ger c bei seiner periodischen Bewegung nicht nur auf einer, sondern auf beiden Seiten mit der Flüssigkeit gepaart wird, was zur Folge hat, dass bei jedem ganzen Spiel des Mechanismus zwei Füllungen des Kapselraumes mit Flüssigkeit stattfinden. Bei Pumpen mit Tauchkolben oder sogenannten einfach wirkenden Kolbenmaschinen ist dies nicht der Fall; die Maschinenpraxis hebt also mit Recht den Umstand hervor.

Unserer Figur ist die konzentrirte bestimmte Formel des Mechanismus, welcher, wie man sieht, durchaus keinen neuen Theil zu seinen bekannten vier Gliedern hinzubekommen hat — da wir von der Flüssigkeit und der Steuerung verabredetermaassen absehen — beigesetzt. Der Schieber c erscheint in derselben als treibendes Glied, in der Voraussetzung, dass der Mechanismus einer Dampfmaschine angehöre. Wird er als Pumpe gebraucht, so lautet die Formel $(C_3''P^{\perp})^{\frac{d}{a}}$. Ausserdem ist durch den Zusatz $(V^{\pm}) = c, d$ angezeigt, dass der Kolben V^{+} und die Kapsel V^{-}, also das Paar $(V^{\pm})$ aus den Gliedern c und d, dem Schieber und dem Stege der rotirenden Schubkurbel, gebildet sind. In ähnlicher Weise ist allen folgenden Maschinenschemas sowohl die Hauptformel, als die der Kapsel- und Kolbenbildung beigeschrieben.

Fig. 2 stellt die Dampfmaschine in der ihr durch Broderip 1828 und Humphreys 1835 *) verliehenen und namentlich durch Penn ausgebildeten Form dar. Das obere Stück des Prismas c ist soviel erweitert, dass der Zapfen 3 hineinfällt, also das Paar 2 in 3 liegt (§. 71). Auch ist c so gestaltet, dass die Koppel b an ihrer Bewegung nicht gehindert wird (vergl. Fig. 241), obwohl der Mittelpunkt von 3 tief herabverlegt ist. Die Aufstellung ist unter dem Namen der Tronkmaschine (*trunk engine*) bekannt. Der Tronk verengt nicht unbeträchtlich die obere Kapselhöhlung; prinzipiell unterscheidet sich indessen die vorliegende Einrichtung nicht von der vorigen, da dort die Kolbenstange ebenfalls eine Verengung der oberen Kapselhöhlung bewirkte. Taf. IV.

*) Von den angeführten Namen der Erfinder oder ersten Erbauer und von den mitgetheilten Jahreszahlen bemerke ich hier im allgemeinen, dass ich nicht in jedem Falle für die Priorität der Genannten einstehen kann, obwohl ich bei jeder Maschine so gut als möglich die ersten Hersteller zu ermitteln gesucht habe. Hinsichtlich der Quellen habe ich mich mit solchen aus zweiter und dritter Hand begnügt, wenn die aus erster zu schwer zu erlangen waren. Eine Geschichte der Erfindung der rotirenden Dampfmaschinen und Pumpen soll also und will das Obige nicht sein.

Taf. IV. Fig. 3. Anordnung von Hastie*) für die Dampfmaschine bestimmt. Die Maschine ist nur einfach wirkend, die Kapsel aber über die Kurbel hin ausgedehnt. Der Kolben ist so schwer gemacht, dass sein Gewicht die einseitige Kraftwirkung theilweise ausgleicht. Neuerdings hat Hicks dieselbe Anordnung bei horizontaler Aufstellung des Steges d wieder einzuführen gesucht und damit auf der Pariser Ausstellung ein wohl nicht gerechtfertigtes Aufsehen gemacht. Er stellt behufs Ausgleichung der einseitigen Dampfwirkung und wegen der Ueberschreitung der Todpunkte vier Stück oder besser zwei Paar Mechanismen der vorliegenden Gattung zusammen — Kettenschluss nach §. 46 — und bewirkt durch die beiden Kolben des einen Paares die Steuerung des Dampfes für das andere**).

Taf. IV. Fig. 4. Pattison's Pumpe***). Diese 1857 in England patentirte Einrichtung ist nichts anderes als ein Getriebe $(C_3''P^{\perp})^d$, bei welchem die Koppel b als treibendes Glied dient, nämlich als Kolben ausgebildet und mit einer aus dem Stege d gestalteten Kapsel gepaart ist; $(V^{\pm}) = c, d$. Die Kapsel ist ein Hohlcylinder, konaxial zum Cylinder 1, während die Umfläche des Kolbens b, soweit sie mit d einen dichten Verschluss zu bilden hat, konaxial zum Cylinder 2 geformt ist. Nach dem Prisma 4 hin bildet der Schieber c in Gestalt eines prismatischen Kölbchens einen Abschluss, ganz wie bei dem vorigen Beispiel. Doch wird seine Oscillation nicht zur Beförderung von Flüssigkeit benutzt, indem die hierfür nöthigen Ventile weggelassen sind. Der Kolben b, von dem beträchtlich erweiterten Zapfen 2 der Kurbel a herumgeführt, saugt an der einen Seite Wasser an, während er an der andern welches austreibt. Das verfügbare Kapselvolumen — der Rauminhalt der ganzen Kapsel vermindert um die des Kolbens — wird bei jedem ganzen Spiel einmal gefüllt und entleert; die Pumpe ist also nach dem Obigen eine einfach wirkende. In der untersten Stellung angelangt, lässt der Kolben für kurze Zeit Verkehr zwischen dem Saug- und Steigrohr entstehen, was aber bei einiger-

---

*) Siehe Johnson, Imp. Cyclopaedia, Steam engine, S. LX; auch Bernoulli, Dampfmaschinenlehre, 1854, S. 321.

**) Siehe u. a. den offiziellen öster. Ausstellungsbericht, 1868, Motoren und Maschinen der allgem. Mechanik. S. 118. — Eine fernere Anwendung der Fig. 3 ist in der Dampfpumpe von Kittoe und Brotherhood, siehe Dingler's Journal, Bd. 191 (1869) S. 440, zu finden.

***) Propagation industrielle. 1869, S. 178.

maassen rascher Bewegung keinen störenden Einfluss ausübt. Die Paarung zwischen *b* und *d* ist an den Endflächen eine niedere, an den Umflächen aber eine höhere, was die Erhaltung des dichten Verschlusses daselbst erschwert. Die Pumpe bedarf keiner Ventile, wenigstens keiner solchen, welche die Flüssigkeit zu steuern haben.

Taf. IV.

Fig. 5. Lamb's Dampfmaschine*), in England patentirt 1842, auch bestimmt für den Betrieb durch Luft, Gas oder Dämpfe irgend welcher Art, sowie zum Pumpen von Flüssigkeiten. Wenn die sehr dunkle Beschreibung des Erfinders auf das Wesentliche zurückgeführt wird, so läuft die Einrichtung auf das in unserer schematischen Figur Angedeutete hinaus. Das Getriebe ist das der rotirenden Schubkurbel, vermindert um den Schieber *c*; die unbestimmte Formel lautet also: $(C_3''P^{\perp})^d - c$. Als Kolben ist wiederum die Koppel *b*, als Kapsel der Steg *d* ausgebildet. Die bestimmte Formel lautet hiernach: $(C_3''P^{\perp})^{\frac{d}{b}} - c$. Der abschliessende Schieber *c* fehlt; dafür ist bei 3′ die in §. 76 bei Fig. 269 und 270 erörterte Paarung zwischen *b* und *d* angewandt, welche allerdings kaum irgendwie auf dampfdichten Verschluss hoffen lässt. Der Erfinder bringt deshalb daselbst ein aus der Beschreibung nicht deutlich werdendes Verschlussstück an, welches hier weggelassen ist. Der Verschluss ist indessen auch unwichtig, wenn nur derjenige an den beiden Berührungsstellen der Koppel mit den Ringwänden der Kapsel *d* gut ist. Lamb lässt nämlich aussen sowohl als innen Dampf eintreten. Der äussere Ring schliesst bei der gezeichneten Stellung zur Linken zwischen sich und der Aussenwand des Kolbens einen halbsichelförmigen schon ziemlich grossen Raum ein, während zwischen der Innenwand von *b* und dem festen inneren Vollcylinder von *a* sich soeben ein Spalt zu öffnen begonnen hat, in welchen ebenfalls Betriebsdampf eingeführt wird. Die Wirkung beginnt hier, wenn der äussere Raum gerade zur Hälfte gefüllt ist, die Kurbel nämlich im oberen Todpunkte steht. Aus den beiden komplementären Räumen ausserhalb und innerhalb *b* entweicht der gebrauchte Dampf. Mit dem Schlitze bei 3′ steigt der Kolben *b* an dem Mittelstege von *d* bei den Rotationen der Kurbel *a* auf und nieder, gerade so wie der Zapfen 3 und der Schieber *c* im vorigen Beispiel. Wird keine Expansionswirkung erfordert, so be-

*) Siehe über diese und die folgende Maschine: Repertory of patent inventions. 1843. Enlarged Series. Vol. I. S. 98.

darf es nur insoweit einer Steuerung, als in der untersten Koppelstellung, wie bei Pattison, der Ein- und der Ausweg auf kurze Zeit nicht durch den Kolben geschieden werden, der Durchfluss also durch ein Ventil verhütet werden muss.

Taf. IV. In Fig. 6 ist eine zweite Maschine von Lamb dargestellt, in welcher zwei Einrichtungen der eben beschriebenen Art ineinander geschachtelt sind. Die Kolben b_1 und b_2 wirken getrennt von einander; sie werden nur von einer gemeinsamen Kurbel a herumgeführt; sie sind zwei Koppeln von verschiedener Länge. Die Pfeile, welche die Dampfströmung anzeigen, sowie die Oeffnungen für die Treibflüssigkeit sind in beiden Figuren bloss an der äussern Wand von d angegeben, für die inneren Räume aber der Einfachheit der Zeichnung wegen weggelassen. Herr Lamb behält sich vor — fast möchte man sagen: droht uns — noch mehr als zwei der ringförmigen Kammern und zugehörigen Kolben ineinanderzuschachteln. Der obige zweite und die folgenden sollen zur Erzielung der Expansionswirkung dienen. Da das verfügbare Kapselvolum sowohl innerhalb als ausserhalb des Ringkolbens b bei jedem ganzen Spiel einmal gefüllt und einmal geleert wird, kann man wohl die vorliegende Maschine eine doppeltwirkende nennen.

Taf. IV. Fig. 7 zeigt eine wiederholt vorkommende rotirende Dampfmaschine, 1847 von Bährens (Köln) ausgeführt, 1851 dem D. Napier in England hinsichtlich gewisser Verbesserungen patentirt*), 1867 von Bompard in Italien (Piemont) abermals erfunden**). Unsere Figur stellt die zweimalige Anwendung des Mechanismus $(C_3''P^{\perp})^d$ dar, wobei das Glied a als Kolben, d als Kapsel gestaltet ist. Das Glied b wirkt mehr nur als Mittel zum dichten Abschluss; als Kettenglied ist es unvollständig geschlossen. Nach wie vor besteht es zwar aus zwei Cylindern oder Cylinderabschnitten, der eine beschrieben aus der Achse von 2, der zweite beschrieben aus der Achse von 3; sein halbmondförmiges Profil ist aber nicht geeignet, eine zwangläufige Paarung mit a sowohl als mit c einzugehen. Der kinematische Schluss wird daher hier durch den Schieber c bewirkt. Dieses Glied kann indessen, da das Glied b unvollständig ist, nur unter Zuhilfenahme fremder Mittel den Schluss herbeiführen. Zunächst haben wir demnach die Formel

*) Rep. of pat. inventions, Enlarged Series. Bd. XX (1852). S. 307.

**) Génie industriel, Bd. XXXIV (1867) S. 179.

so zu schreiben, dass die Unvollständigkeit von b und c zum Ausdruck gelangt. Dies geschieht (indem die zweifache Anwendung derselben Kette durch den Faktor 2 angezeigt wird) bei der Schreibung:

$$2\left[(C_3''P^{\perp})^{d}_{a} - \frac{b}{2} - \frac{c}{2}\right].$$

Wollte man noch in der Formel andeuten, dass die Glieder a und d beiden Ketten gemein sind, also je nur einmal vorkommen, so hätte man noch ausserhalb der Klammer a und d mit Minuszeichen anzuhängen.

Bährens wandte nur einen Schieber an, liess die Kette also einfach, und erzeugte den Schluss des Schiebers c durch ein Gewicht, welches denselben stets abwärts trieb. Napier dagegen benutzte einen für uns nicht fernliegenden und vollkommen richtigen Kettenschluss. Zunächst wandte auch er die Kette nur einfach an, liess nämlich, wie Bährens, den unteren Schieber nebst Dampfkanälen weg, versah aber den oberen Schieber aussen mit zwei Zapfen, welche, zum Zapfen 3 konaxial gestellt, zu beiden Seiten der Kapsel d hervorstanden, und hier je von einer Koppel gefasst wurden, welche die Länge der Koppel b hatte; diese Koppeln endlich wurden von zwei exzentrischen, zu dem Cylinder 2 konaxialen Scheiben herumgeführt. Mit anderen Worten: es sind von Napier zwei ganz gemeinsam wirkende gleiche Ketten von der Form $(C_3''P^{\perp})^{d}$ zu Hilfe genommen, welche sowohl alle Längenverhältnisse, als auch das festgestellte Glied d mit der gekapselten Hauptkette gemein haben. Dass dieser Kettenschluss den geschlossenen Gang des Schiebers c und des Sichelcylinders b zur Folge haben muss, ist einleuchtend.

Bompard wendet zunächst in der Kapsel die doppelte Kette, welche unsere Figur andeutet, an, bewirkt aber sodann den Schluss der beiden Schieber c mittelst einer mehrgliedrigen besonderen Kette, deren Beschreibung hier zu weit führen würde. Zu sagen ist nur, dass dieselbe nur annähernd die gewünschte Bewegung hervorbringt, also hinter der von Napier angewandten hinsichtlich der Vollkommenheit der Lösung zurücksteht.

Fig. 8. Rotirende Dampfmaschine von Yule*) (1836) und von Hall**) (vor 1869) vorgeschlagen und beidemal auch wohl aus- Taf. IV.

*) Bataille et Jullien, mach. à vapeur (1847) Bd. I. S. 449; siehe auch Berliner Verhandlungen 1838. S. 233.

**) Propag. industrielle. IV (1869) S. 340; auch Génie industriel. Bd. 35 (1868) S. 82.

geführt. Wir haben die rotirende Schubkurbel vermindert um die Koppel *b*, und mit Kraftschluss für den Schieber *c* versehen, vor uns, weshalb die Kette zu schreiben ist:

$$(C_3''P^{\perp})^{\frac{d}{a}} - b - \frac{c}{2}.$$

Als treibendes Glied und Kolben ist wieder das Glied *a*, als Kapsel *d* ausgebildet. Yule ordnete die Dampfkanäle so an, wie unsere Figur andeutet; Hall lässt den Austritt wie hier, den Eintritt des Dampfes aber durch eine Höhlung des Schiebers selbst erfolgen, weshalb er die Kapsel über den Schieber hinausführt (vergl. Fig. 4) und oberhalb des Schiebers das Eintrittsrohr in dieselbe einmünden lässt. Den Kraftschluss des Schiebers *c* bewirkt in beiden Ausführungen das Gewicht desselben. Die Paarung zwischen *a* und *c* ist eine höhere, daher für das Erreichen eines dampfdichten Verschlusses wenig geeignet.

Die vorgeführten acht Kurbelkapselwerke sind, was bisher nicht bekannt war, sämmtlich auf den sehr gebräuchlichen Mechanismus des ersten Beispieles gegründet, und zwar immer nach demselben, im vorigen Paragraphen erörterten Prinzip der Bildung von Verdränger und Kapsel aus dafür passend erachteten Gliedern, und Zufügung einer Steuerung, wo diese sich als nöthig ergibt. Die Frage nach dem praktischen Werth der einzelnen Maschinen wollen wir hier noch ausser Augen lassen; dann aber stehen alle acht Lösungen als gleichberechtigt da, und verdienen deshalb die Aufmerksamkeit des kinematischen Analytikers in gleichem Maasse. Die Bildung von Kolben und Kapsel fand statt aus den Gliedern

c und *d*, *b* und *d*, *a* und *d*.

Jedesmal war *d* die Kapsel. Diese Wahl erscheint natürlich, da *d* zugleich das feststehende Glied war, ihm also die Dampf- oder Wasserröhren leichter zuzuführen sind, als jedem beweglichen Gliede. Doch wird sich im Verfolg zeigen, dass die Praxis dessen ungeachtet auch bewegliche Glieder des Mechanismus zur Kapsel gestaltet hat. Die möglichen Kombinationen von Kolben und Kapsel im Getriebe $(C_3''P^{\perp})^d$, also die Zahl der daraus zu bildenden Kapselwerke, ist somit durch das Gegebene noch nicht erschöpft; es würde nicht schwer sein, noch andere Kombinationen zu bilden. Aeusserlich am wenigsten erinnern an das Kurbelgetriebe die Lamb'schen Maschinen, Fig. 5 und 6; sie erscheinen auf den ersten Blick äusserst fremdartig und erfordern für den in der neuen Auffassung Ungeübten eine scharfe Abstraktion, um richtig aufgefasst zu

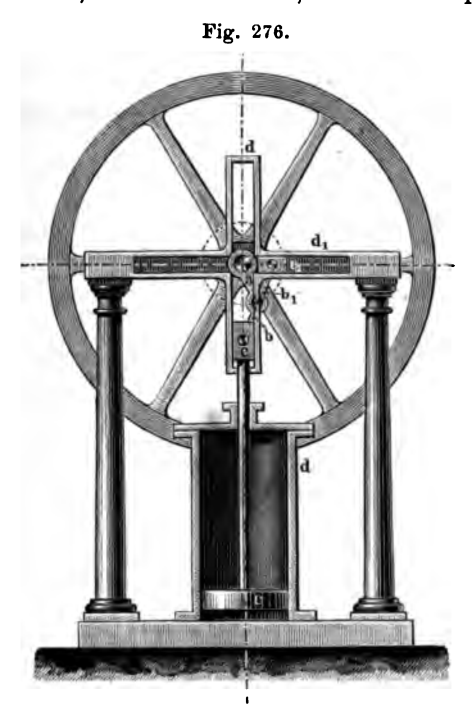
werden. Doch ist unsere Analyse ganz zwanglos, ganz ohne Kunstgriffe zu dem erhaltenen Resultate gelangt, welches thatsächlich den wirklichen Inhalt des Mechanismus aufklärt. Zugleich hat wohl der Leser bei dieser Gelegenheit die Ueberzeugung gewonnen, wie nothwendig die Allgemeinheit der früheren Untersuchungen war; wie wesentlich es war, die Vertauschbarkeit von + und — im niederen Paare, die Erweiterungen der Elemente, die Kettenverminderung und -Vermehrung u. s. w. von einem allgemeinen Standpunkte aus zu erörtern, und die in diesen Verfahrungsweisen steckende Gestaltungskraft grundsätzlich vor Augen zu führen.

§. 80.

Kurbelkapselwerk aus der gleichschenkligen rotirenden Schubkurbel.

Der in §. 70 besprochene besondere Fall der rotirenden Schubkurbel, welcher entsteht, wenn die Koppellänge b = der Kurbellänge a gemacht wird, ist ebenfalls schon öfter als Kapselwerk ausgebildet worden. Fig. 276 stellt die im Jahre 1816 von Dawes*) damit konstruirte Dampfmaschine dar. Den Mechanismus nannten wir die gleichschenklige rotirende Schubkurbel. Hier ist der Lenkstab d zum Stege oder festgestellten Gliede gemacht; die allgemeine Formel lautet also: $(C''_2 \angle C'' P^{\perp})^d$. Sodann ist c zum Kolben, d zur Kapsel ausgebildet, also: $(V^{\pm}) = c, d$. Die besondere Formel wird

Fig. 276.



*) S. Severin's Abhandlungen (Mitth. des techn. Dep. f. Gewerbe, 1826) S. 64.

hiernach lauten: $(C''_2 \leqq C''P^{\perp})^{\frac{d}{c}}$. Die verlängerte Koppel trägt an ihrem oberen Ende noch einen zweiten Schieber c_1, welcher in einer mit d verbundenen Schleife d_1 sich führt. Hier ist also statt des in §. 47 und 70 besprochenen Paarschlusses die Schliessung durch eine zweite, der Hauptkette gleiche kinematische Kette angewandt, deren Schubrichtung rechtwinklig zur ersteren steht.

Anlass zur Anwendung des vorliegenden Mechanismus gab das Bestreben, die Kurbelachse der Dampfmaschine dem Cylinder recht nahe zu bringen. Bei näherer Untersuchung findet man bald, dass die Anordnung wegen der in ihr liegenden konstruktiven Schwierigkeiten keinen praktischen Werth hat. Sie taucht indessen immer wieder hie und da auf, so 1851 auf der Londoner Weltausstellung *), ebenso 1868 auf der Petersburger Ausstellung. Hier hatte Professor Tchebischeff ein gangbares Modell ausgestellt, an welchem die zweite Prismenführung bei c_1 durch eine Kettenvermehrung (§. 67), nämlich eine neue Gelenkgeradführung von seiner Erfindung ersetzt war **).

§. 81.

Kurbelkapselwerke aus der oscillirenden Kurbelschleife.

Taf. IV. Fig. 9 bis 14.

Das zweite der vier Getriebe, welche wir oben aus der Kette $(C''_3 P^{\perp})$ bildeten, war die oscillirende Kurbelschleife, derjenige Mechanismus nämlich, welcher bei Stellung der Kette auf das Glied b erhalten wird. Seine verkürzte Formel ist $(C''_3 P^{\perp})^{b}$. Er ist ebenfalls auf mehrere Arten zum Kapselwerk gestaltet worden.

Taf. IV. Wohl die älteste Form ist die von Murdock 1785 ***) erfundene sogenannte oscillirende Dampfmaschine, Fig. 9. Die ehemalige Koppel b ist zum Stege oder festen Gestelle gemacht; die Kurbel a dreht sich um die ehemalige Kurbelwarze als Achse; der frühere Schieber c ist zur cylinderfömig gestalteten Kapsel, die Schleife d zum Kolben ausgebildet. Die Kapsel- und Kolbenbildung ist also durch $(V^{\pm}) = d,\ c$ zu bezeichnen, die bestimmte Formel

---

*) Maschine von Booth, s. Off. Catalogue Exhibition 1851, Vol. I. S. 219.

**) Siehe Berliner Verhandlungen, 1870, S. 182.

***) Siehe Muirhead, Inventions of J. Watt. Bd. III. Taf. 34.

$(C_3''P^{\perp})^{\frac{b}{a}}$ zu schreiben. Die Steuerung wurde von Murdock so bewirkt, dass ein festgestellter, aber etwas federnder Arm die Stange eines gewöhnlichen Muschelschiebers zwang, sich parallel der Kolbenstange hin- und herzubewegen, wobei nothwendig der Muschelschieber sich gerade in der mittleren Stellung befindet, wenn die Kurbel in einem Todpunkt steht. Später hat man die Steuerung durch die Oscillation des mit geeigneten Ausschnitten versehenen hohlen Cylinderzapfens 3 oder eines damit konaxialen Drehkörperabschnittes gegen sein feststehendes Gehäuse bewirkt, und wendet dieselbe Methode auch heute in dem Falle an, wo der Mechanismus als Wasserkraftmaschine oder als Pumpe dienen soll; die Steuerung heisst dann Hahnsteuerung. Soll hingegen die Expansionswirkung der Flüssigkeit in Benutzung gezogen werden, so bedient man sich mehr zusammengesetzter Mechanismen.

Ein Vergleich zwischen Fig. 9 und Fig. 1 unserer Tafel zeigt, dass — abgesehen von der Steuerung — die oscillirende Dampfmaschine eine Umkehrung des Mechanismus der direkt wirkenden ist. Nur ist dabei der sehr passende Kunstgriff gebraucht, bei der Kapselbildung auch das Paar 4 noch mit umgekehrten Zeichen auszuführen, so dass der Kolben von Fig. 1 hier als (Hohl-) „Cylinder", der „Cylinder" von dort hier als Kolben erscheint. Wollte man die Maschine ohne diese Paarumkehrung auf die oscillirende Kurbelschleife umkehren, so käme man in die Schwierigkeit, den Dampfraum mittelst eines beweglichen Rohres mit dem Kessel verbinden zu müssen. Aenderte man indessen die Steuerung so ab, dass die Dampfkanäle in die mit geeigneten Aushöhlungen versehene Kolbenstange verlegt würden, so liesse sich mittelst der Hahnsteuerung die Zu- und Ableitung in nicht ganz unpraktischer Weise bewirken. Ich will nur anführen, dass sich auch wirklich jemand gefunden hat, der diese Idee zur Ausführung gebracht hat. Herr E. Jelowicki liess sich eine so eingerichtete Dampfmaschine, beziehungsweise Pumpe, 1836 in England patentiren*).

Taf. IV

Es liegt nicht ferne und ändert am Prinzipe nichts, wenn, wie in Fig. 10 angenommen ist, die Kapselung so vorgenommen wird, dass der Drehzapfen 3 in die Gegend des Endes des Cylinders c fällt, statt genau in der Mitte zu liegen, wie in Fig. 9. Die Dampfmaschinen von Alban, Farcot und anderen, auch die klei-

*) Siehe Newton, London Journal of Arts etc. Conjoined Series, (1837). Bd. IX. S. 34.

neren Wassersäulenmaschinen von Armstrong zeigen diese Einrichtung.

Statt eines der beweglichen Glieder kann auch das ruhende *b* zur Kapsel gemacht werden. Um dies zu zeigen und damit die Lösung der vorliegenden Aufgabe noch etwas zu verallgemeinern, füge ich in Fig. 11 eine etwa als Pumpe ausführbare Konstruktion bei, in welcher das Glied *c* — der „Cylinder" von Fig. 9 — als Kolben gebildet ist. Dieser letztere pendelt in der Kapsel *b* um den Zapfen 3 hin und her. Es soll durchaus nicht gesagt sein, dass die Konstruktion Anspruch auf praktische Bedeutung habe; indessen hat man wirklich Pumpen ausgeführt, welche einige Aehnlichkeit mit der vorliegenden besitzen. Man vergleiche nur Fig. 7 auf Taf. VI.

Interessanter ist die Dampfmaschine von Simpson & Shipton*), welche Fig. 12 schematisch wiedergibt. Sie ist in vorzüglicher Ausführung 1848 praktisch geprüft und angeblich bewährt (!) befunden worden. Wenige Beispiele sind indessen wie dieses geeignet zu zeigen, einestheils wie leicht ein Gefühlsinteresse auch tüchtige Ingenieure dazu bringen kann, mehr zu sehen als da ist, und anderntheils, wie dunkel und verworren die bisher üblichen kinematischen Anschauungen waren. Die Erfinder selbst sowohl wie ihre Interpreten zeigen sich völlig befangen von der Sonderbarkeit der sich vor ihren Augen vollziehenden Bewegungen der Maschine. Die gewöhnlichen Bewegungserläuterungen wollen nicht ausreichen; sie sprechen, indem sie den Kolben *a* und sein eigentliches Spiel beschreiben wollen, von einem „Exzentrik, welches sich in seinem eigenen Durchmesser umwälzt". Welche „exzentrische" geometrische Phantasie! In seinem eigenen Durchmesser sich umzuwälzen!! Dass diese quasi-Erläuterung ganz ohne Sinn ist, ein Wort ohne jeden Begriff, blieb unbemerkt, auch von solchen, welchen das Nebelhafte in dem Ausspruche hätte verdächtig sein müssen. Es blieb darum von ihnen unbemerkt, weil sie eben selbst kein Licht in die Sache zu bringen wussten, weil unserer bisher gebräuchlichen Bewegungsschilderung die prinzipielle Unterlage wirklich zum grossen Theil fehlt.

Taf. IV.

Was wir vor uns haben, ist die oscillirende Kurbelschleife, vermindert um das Glied *d*, mit Kapselung von *a* in *c* bei treiben-

*) Siehe Johnson, Imp. Cyclopaedia, Descr. of the Plates, S. 29; auch Newton, London Journal of Arts etc., Bd. 37 (1850). S. 207.

dem Gliede a. Die Formel für das Getriebe lautet: $(C_3'' P^{\perp})_{\frac{b}{a}} - d$, und die für Kolben und Kapsel: $(V^{\pm}) = a, c$. Unsere Figur 226 stellte die Kette in der unverminderten, die Kapselung ausser Betracht lassenden Gestalt dar. Gegen c beschreibt a ganz ähnliche Oscillationen wie der Kolben d in Fig. 9 und 10; die Rotation von a kommt nur zu der Oscillation noch hinzu. Bei der Ausführung lässt eine geeignete Steuerung den Dampf in den Raum zwischen der Kapselwand und dem Kolben a eintreten, beziehungsweise daraus entweichen, ganz wie es oben bei den in Fig. 9 und 10 dargestellten Mechanismen geschieht. Es liegt auf der Hand, dass die Verminderung der Kette um d, welcher zufolge zwischen c und a eine höhere Paarung statt einer niederen stattfinden musste, die Erhaltung des dampfdichten Verschlusses ungemein erschwert. Ich will nicht unerwähnt lassen, dass der vorstehende Mechanismus auch zu einer Wasserpumpe verwendet worden ist (Formel: $(C_3'' P^{\perp})_{\frac{b}{a}} - d$), und zwar von dem Amerikaner Broughton*). Die Steuerung hat derselbe als Hahnsteuerung, und zwar an der Achse 2 des Kolbens a angebracht.

Fig. 13. Pumpe von Knott**), in England patentirt 1863. Taf. IV. Hier ist das Glied d zum Kolben, b zur Kapsel gemacht, im übrigen die Kette wieder vollständig. Das Prisma 4 des Gliedes d, welches nach dem Schema Fig. 242 in 3 gelegt ist, schliesst dicht im Schieber c, ebenso der äussere Umfang der Zapfenhülse 1 an der cylindrischen Wand der Kapsel. Bei der obersten Stellung von d findet auf kurze Zeit freier Verkehr zwischen Saug- und Steigrohr statt, ähnlich wie bei Pattison's Pumpe, Fig. 4; sonst aber wird fortwährend, ohne dass eine besondere Steuerung erforderlich wäre, an der einen Kolbenseite Saugung, an der andern Austreibung der Flüssigkeit durch die Rotation von a bewirkt. Dieses Glied ist als das treibende in die Formel aufgenommen. Nach der früheren Definition müssen wir die Knott'sche Pumpe eine einfach wirkende nennen, während die vier vorhergehenden Vorrichtungen doppeltwirkende waren.

---

*) Siehe Propag. industrielle IV. (1869). S. 145. Das französ. Patent datirt von 1856.

**) Siehe Newton, London Journal of Arts etc., New Series. Bd. XIX. (1864); auch König, Pumpen (Jena, 1869). S. 103, wo aber die Abbildung eine Unrichtigkeit enthält.

Fig. 14. Gebläse, dem Maschinenfabrikanten Wedding 1868 in Preussen patentirt. Die Kette $(C_8'' P^{\perp})$ ist hier um das Glied c vermindert, im übrigen ihre Anwendung derjenigen in der Knott'schen Pumpe ähnlich; auch hier ist $(V^{\pm}) = d$, b und die Kurbel a auch wieder treibendes Glied. Die höhere Paarung, welche wegen des Wegfalls von c zwischen d und b hergestellt werden musste, ist die von Fig. 270, ganz dieselbe also, welche bei Lamb, Fig. 5 und 6 unserer Tafel, angewandt ist. Für die geringen Spannungen, welche bei der Luftbewegung in Gebläsen gewöhnlich nur gefordert werden, ist der Verschluss bei 3 völlig ausreichend; ebenso ist der Verkehr zwischen Saug- und Druckrohr beim oberen Todpunkt ohne wesentlichen Nachtheil*). Die Verwandtschaft des vorliegenden Mechanismus mit dem Lamb'schen, Fig. 5, muss sich noch weiter verfolgen lassen. In der That entspricht der innere Cylinder d mit dem senkrechten prismatischen Fortsatz 3' der Lamb'schen Maschine dem Kolben der Wedding'schen, und der dortige rotirende ringförmige Kolben der hier vorliegenden Kapsel. Deutlich wird hier wieder, dass bei Lamb doppelte Wirkung, hier aber nur einfache stattfindet. Herr Wedding macht darauf aufmerksam, wie man durch passende Profilirung des oberen Gehäusetheiles aus diesem und dem Prisma an d eine zweite Kapsel nebst Kolben bilden könne, welche sich gerade in der stärksten Wirkung befinden würde, wenn in der ersten Kapselung der Todpunkt eingetreten ist. Auch wegen dieses Punktes vergleiche man die Lamb'sche Maschine, wo zwischen der Wirkung innerhalb und ausserhalb des ringförmigen Kolbens b dieselbe Wechselbeziehung stattfindet.

Wirft man noch einen vergleichenden Blick auf die beiden letzten Mechanismen und den ersten, Fig. 1, so wird man es allerdings nicht verwunderlich finden, dass es erst nach sorgfältiger und mit eindringender Kraft ausgestatteter Analyse uns gelingen konnte, in dem eigenthümlich geformten Gehäuse b nur die umgestaltete Pleuelstange der Dampfmaschine in Fig. 1, in dem raketförmigen Kolben d das Maschinengestell derselben wieder zu erkennen.

---

*) Die beiden in der Spandauer Artillerie-Werkstätte thätigen Wedding'schen Ventilatoren von je 6 Pferdestärken bewährten sich angeblich sehr gut. (Der Kolben ist dort von Holz ausgeführt, die Platte an d ein dünnes Brett.) Neuerdings sind indessen beide Ventilatoren durch gewöhnliche Flügelräder ersetzt worden, weil die bei der Ueberschreitung des Todpunktes entstehende Spannungsverminderung an den Schmiedefeuern zu störend empfunden worden sein soll.

§. 82.

Kurbel-Kapselwerke aus der rotirenden Kurbelschleife.

Taf. V. Fig. 1 bis 18.

Keines der Kurbelgetriebe ist so oft, d. h. auf so viele Arten zur rotirenden Dampfmaschine oder Pumpe gestaltet worden, als die rotirende Kurbelschleife $(C_3''P^{\perp})^a$. Sie besitzt nämlich zwei rotirende Glieder, die Schleife *d* und die Koppel *b*, und ein rotirendes und zugleich oscillirendes, den Schieber *c*, wonach also sämmtliche beweglichen Glieder Rotationsbewegung haben. Alle drei sind bei den fieberhaft-grüblerischen Versuchen, eine rotirende Maschine hervorzubringen, als Kolben ausgebildet worden. In Fig. 1 bis 10 ist *c* der Kolben; in Fig. 11 bis 16 ist es *d*, in den beiden letzten *b*.

Fig. 1. Dampfmaschine, 1821 von Ward zum Ruderradbetrieb*), vor 1847 von Mouline**) und 1862 von Schneider***) zum gewöhnlichen Maschinenbetrieb benutzt. Zu Kapsel und Kolben sind *d* und *c* ausgebildet, demnach die Maschine eine unmittelbare Umkehrung derjenigen in Fig. 1, Taf. IV. Die Dampfzu- und Ableitung geschieht mittelst Hahnsteuerung, wozu der Zapfen 1 sich bequem darbietet. Das Schwungrad sitzt auf *b*, als demjenigen Stücke, dessen Drehung möglichst gleichförmig gemacht werden soll. — Taf. V.

Fig. 2. Dampfmaschine, 1819 von S. Morey zum Ruderradbetrieb†), 1834 von Cramer unter Vereinigung dreier Cylinder nebst Zubehör††) und 1862 wieder mit nur einem Cylinder von Schneider zum Betrieb von beliebigen Arbeitsmaschinen benutzt. Hier ist zum Unterschied von der vorigen Anordnung das Glied *d* zum gleichförmig rotirenden gemacht. Morey, Ward und Schneider sind Amerikaner; man erkennt, wie mit Vorliebe auf dem zu- Taf. V.

*) Severin's Abhandlungen. S. 114; auch Dingler's p. J. Bd. IX. S. 291.

**) Bataille und Jullien, Mach. à vapeur (1847). Bd. II. S. 241.

***) Polyt. Journal. Bd. 163 (1862). S. 401.

†) Severin's Abhandlungen. S. 110.

††) Newton, London Journal of Arts etc., Conjoined Series, Bd. XVIII. (1842). S. 454.

erst gelockerten Boden sich die Idee fortgebildet hat. Als Vortheil der Anordnung wird der Umstand angeführt, dass alle beweglichen Organe rotirende Bewegung haben und demzufolge ohne Schwierigkeit eine grosse Spielzahl gestatten*).

Taf. V. Fig. 3. Pumpe von Emery (Amerika**). Sie ist eine Verbindung von vier rotirenden Kurbelschleifen, also allgemein zu schreiben $4\ (C_3''P^{\perp})^{a}$. Der Steg *a* ist zur Kapsel, die vier Schieber *c* sind zu Kolben gemacht. Sie legen sich an die innere Kapselwand mit höherer Paarung an; eine in der Zeichnung weggelassene Auskerbung verhütet, dass in den beiden unteren Quadranten Vakuumbildung oder Einsperrung der Flüssigkeit entstehen könne. Die Triebkraft wird durch das Glied *d* eingeleitet. Emery lässt in späteren Ausführungen die Koppeln *b* weg, d. h. vermindert die Kette um *b*, und wendet dafür die Paarung der Zapfen 2 mit der im Hintergrund der Figur sichtbaren kreisringförmigen Rinne an. Er hat den Apparat u. a. auch als Flüssigkeitsmesser benutzt.

Taf. V. Fig. 4. Dampfmaschine, angegeben von Lord Cochrane 1831***). Der Schieber *c* ist wieder Kolben, diesmal aber das drehbare Glied *b* als Kapsel gestaltet. Die Dampfzu- und Ableitung findet durch den gehöhlten Zapfen 1 und die punktirte Höhlung des Kolbens *c* statt. Das Glied *d* berührt unten die Kapselwand wieder mit höherer Paarung.

Taf. V. Fig. 5 zeigt die sehr verbreitete Gaspumpe von Beale†). Sie besteht aus zwei vereinigten rotirenden Kurbelschleifen; ihre allgemeine Formel lautet also: $2\ (C_3''P^{\perp})^{a}$, ihre besondere $2\ (C_3''P^{\perp})^{\frac{a}{d}}$, da durch *d* die Triebkraft eingeleitet wird. Das ruhende Glied *a* ist Kapsel, *c* Kolben; die Koppel *b* ist als Kreisringsektor ausgeführt (vergl. §. 71), welcher in einer kreisringförmigen Rinne an *a* gleitet, und einen genügend grossen Winkel umfasst, um das unzeitige Entweichen von Gas durch die ringförmige Rinne 2 stets zu verhüten.

Taf. V. Fig. 6. Rotirende Dampfmaschine von Davies (England), 1867

---

*) Eine dreicylindrige Maschine der vorliegenden Gattung ist die von Cramer (1834), siehe Newton, London Journal of Arts etc., Conj. Series. Bd. XX. (1842). S. 454.

**) Propag. industrielle. Bd. IV. (1869). S. 335.

***) Propag. industrielle. Bd. III. (1868). S. 180.

†) Schilling, Gasfabrikation, 1866, S. 204; auch Clegg, Manuf. of coalgas, 1859, S. 190.

patentirt*). Hier sind drei der Mechanismen $(C_3''P^{\perp})^a$ verbunden, *c* ist Kolben und treibendes Glied, *a* Kapsel. Die Koppel *b* ist auf einen cylindrischen Stab mit kreisförmig profilirter Abplattung zusammengeschrumpft; letztere ist aber nichts anderes als ein Bruchstück des Cylinders 2, aus der Achse der Kapsel *a* beschrieben, entspricht also der Kurbelwarze im Getriebe $(C_3''P^{\perp})^d$. Die Koppel *b* geht wegen dieser unvollständigen Ausführung des Zapfens 2 nicht zwangläufig. Deshalb musste Davies einen anderen Schluss anbringen. Er that es durch Zufügung der kreisringförmigen, in der Zeichnung punktirten Rinne, in welche die Schieber mit runden Zapfen eingreifen, also durch Anbringung einer höheren Paarung zwischen *c* und *a*. Genau ist dieser Schluss nicht, weil bei den cylindrischen Vorsprüngen an *c* die Rinne nicht kreisförmig sein dürfte, wenn sie den Schluss bewirken soll, oder bei kreisförmiger Rinne die Zapfen an *c* nicht die angedeuteten Cylinder, vielmehr Bruchstücke von Cylindern sein müssten, welche aus der Achse von 3 zu beschreiben wären.

Fig. 7 zeigt eine sehr alte rotirende Pumpe, diejenige von Ramelli, 1588 von ihm veröffentlicht**). Es sind vier rotirende Kurbelschleifen, betrieben von *d* aus, vermindert um die Koppel *b*, und kraftschlüssig hinsichtlich des Schiebers *c*, vereinigt, was die der Zeichnung beigeschriebene Formel

$$4\left[(C_3''P^{\perp})^{\frac{a}{d}} - b - \frac{c}{2}\right]$$

ausdrückt. Als Mittel zum Kraftschluss habe ich zwei Federn angedeutet, die sich öfter vorfinden; Ramelli selbst stellte die Maschine so auf, dass der Mittelpunkt der inneren Trommel *d* nach oben kam, und begnügte sich mit dem einigermaassen ausreichenden Schluss durch die Schwere der Schieber. Die Kapsel *a* ist cylindrisch gehöhlt, die Paarung zwischen ihr und den Schiebern eine höhere. Die Wiedererfindungen der Ramelliane sind zahlreich. Ich führe an: die Dampfmaschine von Borrie, vierflüglig, mit Federn***), und die Pumpe von Caméré, welche nur zwei Flügel hat, die aber ebenfalls durch Federn auseinander getrieben werden †).

---

*) Propag. industrielle. Bd. IV. (1869). S. 276; sehr ausführl. Mittheilung.

**) Ramelli, Arteficiose Machine (1588). S. 58 und 167.

***) Bataille und Jullien, Mach. à vapeur (1847). I. S. 445. Taf. XI.

†) Propag. industrielle. Bd. IV. (1869). S. 337.

Grosse Aehnlichkeit mit **Ramelli's** Maschine hat diejenige in Taf. V. Fig. 8. Sie ist von **Jones & Shirreff** (England) 1856 als Dampfmaschine und Pumpe*), von **Ortlieb & White** (Amerika) 1867 als Dampfmaschine angegeben worden. Hier ist die dreimal angewandte Kette $(C_3''P^{\perp})^{s}$ ebenfalls um b vermindert. Die höhere Paarung, welche c an Stelle der weggefallenen Koppel b zu leiten bestimmt ist, ist ganz richtig ausgeführt. Bei **Jones & Shirreff** ist der Cylinder 2 beweglich (rollend) gelassen, um die Reibung zwischen ihm und den Schiebern klein zu halten.

Taf. V. Fig. 9 zeigt eine andere Ausführung desselben Mechanismus. **Beale** hat denselben als Dampfmaschine angegeben und für ein Dampfschiff zur Ausführung gebracht**), **Dalgety & Ledier** haben ihn 1854 zu einer Pumpe benutzt***). Hier sind die Schieber c vollständig cylindrisch ausgeführt; zugleich ist ihnen eine rollende Bewegung gestattet. Dass **Beale's** Dampfmaschine einen schlechten Effekt gegeben hat, kann nicht Wunder nehmen, da die zahlreichen höheren Paarungen den dampfdichten Verschluss fast unmöglich machen.

Taf. V. Fig. 10 zeigt eine Dampfmaschine besonderer Art, von **Smyth** angegeben †), welche zeigt, wie weit der unklare Wahn, dass in der rotirenden Dampfmaschine absonderliche Vortheile steckten, führen kann. Es sind vier Getriebe von der Gattung $(C_3''P^{\perp})^{s} - b$ vereinigt, die Schieber c ausgeführt, die für das entfallene Glied b eingetretene höhere Paarung durch einen Kreisring und darin gleitende Cylinder bewirkt, die Dampfwirkung aber nur in der Expansion des zwischen den aufeinander folgenden Cylindern (c) eingeschlossenen Dampfvolums gesucht. Die Unzweckmässigkeit liegt auf der Hand; erstaunlich ist nur, dass ein Journal wie Pr. Mech. Journ. die Mittheilung in seinen Spalten ernsthaft behandeln konnte.

Taf. V. Fig. 11. Dampfmaschine, aus zwei Getrieben von der Art $(C_3''P^{\perp})^{s}$ gebildet. Zum erstenmal sehen wir darin d als Kolben ausgeführt; die Koppel b bildet eine Trommel, welche wieder die Kapsel innen berührt und sich ausserdem um den Zapfen 2, dessen Lager verdeckt ist, dreht; der Schieber c bildet das Verschluss-

*) **Newton**, London Journal of Arts etc., New Series. Bd. VI. (1857). S. 9; auch Schweizerische polyt. Zeitschrift. Bd. II. (1857). S. 8.

) **Bataille und Jullien, Mach. à vapeur. Bd. I. (1847). S. 444.

***) Propag. industrielle. Bd. IV. (1869). S. 84.

†) Pract. Mech. Journal. Bd. XVII. (1864 bis 1865). S. 261.

stück an der Stelle, wo d die Trommel b durchdringt. Lechat hat diese Maschine unter Anwendung nur eines Kolbens, also nur eines Getriebes $(C_3''P^{\perp})^{\cdot}$ im Jahre 1866 angegeben und auch vollständig durchgeführt*). Hick in Bolton hatte aber schon 1843 auf dieselbe Maschine ein englisches Patent erworben**). Beiden voran war längst schon Lord Cochrane gegangen, welcher 1831 die Maschine sowohl unter Anwendung zweier Kolben, wie in unserer Skizze angenommen ist, als auch nur eines Kolbens ausführte; an derselben brachte Lord Dundonald 1833 kleine Verbesserungen an ***). Ausserdem hat der Amerikaner Root dieselbe Maschine, der er drei Kolben statt eines oder zweier gab, 1863 abermals erfunden †).

In Fig. 12 sehen wir dieselbe Maschine, dreiflüglig, als Gebläse behandelt. Es rührt von Bellford her, welcher 1855 die Vorrichtung in England patentiren liess ††). Ganz neuerdings hat der oben genannte Root abermals dasselbe Gebläse, ebenfalls dreiflüglig hergestellt, wieder neu ans Licht gebracht †††). Wir haben also hier ein schlagendes Beispiel der wahrhaften Vergeudung von Erfindungskraft vor uns, die das Problem der rotirenden Dampfmaschine und Pumpe bewirkt hat, und welche zu verhüten die bisherige Auffassung der Kinematik kein Mittel bot. Taf. V.

Fig. 13 zeigt eine weitere Schöpfung der fruchtbaren Erfindungsgabe des Lord Cochrane §), wiederum zur rotirenden Dampfmaschine bestimmt. Man erkennt, dass es sich um eine Kettenverminderung handelt. Das Glied c der vorigen Maschinengattung ist weggemindert, der Mechanismus $(C_3''P^{\perp})^{\cdot} - c$ übrig geblieben, und die Paarung nach Fig. 269 angebracht, was für den dampfdichten Verschluss wenig Hoffnung gibt. Taf. V.

Der unermüdliche Lord war mit der Reihe der erhaltenen Kombinationen nicht zufrieden. Wir sehen in Fig. 14 eine weitere von ihm angegebene Form immer desselben Mechanismus, als

*) Génie industr. Bd. XXXII. (1866). S. 27.

**) S. Pract. Mech. Journal. Bd. XIX. (1866 bis 1867). S. 249.

***) Propag. industrielle. III. (1868). S. 181; Newton, London Journal of Arts etc., Conjoined Series Bd. VIII. (1836). S. 404 und Bd. IX. (1837). S. 216.

†) Scientific American, New Series. Bd. VIII. (1863). S. 63.

††) Newton, London Journal of Arts etc. New Series. Bd. V. (1857). S. 121.

†††) Scientific American. 1872, November. S. 354.

§) Propag. industr. a. a. O.

Pumpe gedacht*). Auch hier ist die Kette um c vermindert, diesmal aber ist nicht a, sondern b als Kapsel gestaltet $(V^{\pm}) = d, b$. Vergleichen wir Fig. 14, Taf. IV. mit der vorliegenden Figur, so bemerken wir, dass — abgesehen von der Anbringungsweise der Kanäle — die Umkehrung des dort angewandten Mechanismus vor uns liegt.

Der Erhöhung des Verständnisses wegen führe ich in Fig. 15 das um das Glied c wieder vermehrte Getriebe vor; dasselbe ist, wie einleuchten wird, eine Umkehrung der Knott'schen Pumpe, Fig. 13, Taf. IV.

Schon bei Fig. 10 besprachen wir jene Eigenthümlichkeit der mehrfachen rotirenden Kurbelschleife, die zwischen den rotirenden Kolben bestehenden Räume abwechselnd zu vergrössern und verkleinern. Dieses Prinzip ist in dem Mechanismus Fig. 16 dahin ausgebeutet, dass die besagten Räume sich bis auf nahezu Null verringern, um darauf bis zu einem Maximum zuzunehmen. Es sind zwei der Ketten $(C_3''P^{\perp})^{a}$ vereinigt, und d als Kolben, a als Kapsel ausgebildet. Die Verkleinerung der Kolbenintervalle auf Null gelingt durch passende Annahme des Winkels, bis auf welchen die Sektoren d ausgedehnt werden. Die eigentlichen Lenkstäbe d nebst Koppeln und Schiebern sind ausserhalb der Kapsel a verlegt. Minari wandte 1838 die Kette $(C_3''P^{\perp})^{a}$ dreifach an**) und gestaltete das Ganze als Dampfmaschine; Stocker, 1872, benutzte den Mechanismus nur zweifach, wie es unsere Skizze angibt***); auch er benutzt die Vorrichtung als Dampfmaschine. Der Exponent der Formel bei Fig. 16 gibt d als treibendes Glied an; dient die Maschine als Pumpe, so kann auch b als treibendes Stück dienen. Wie man bemerkt, besteht zwischen Kolben und Kapsel nur niedere Paarung; der dampfdichte Verschluss lässt sich deshalb hier unschwer herstellen. Smyth wandte vier vereinigte rotirende Kurbelschleifen an†), und verlegte die Koppeln wieder in das Innere der Kapsel a. Die Fig. 277 zeigt die als Pumpe gedachte Vorrichtung. Die Schieber c fehlen, und es ist dafür die Paarung der verminderten Kette Fig. 268 benutzt. Die Formel lautet also: $4\ [(C_3''P^{\perp})^{\frac{a}{b}} - c)$.

Taf. V.

*) Propag. industr. a. a. O.

**) Propag. industrielle. Bd. III. (1868). S. 276.

***) Baierisches Industrie- und Gewerbeblatt. 1872. S. 167.

†) Dingler, polyt. Journal. Bd. 199 (1861). S. 483; auch Engineer, Januar 1871. S. 56.

Von Lord Cochrane muss endlich noch eine letzte Form des Kapselwerkes aus $(C_3''P^{\perp})^{a}$ angeführt werden, siehe Fig. 17 unserer

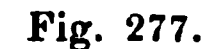
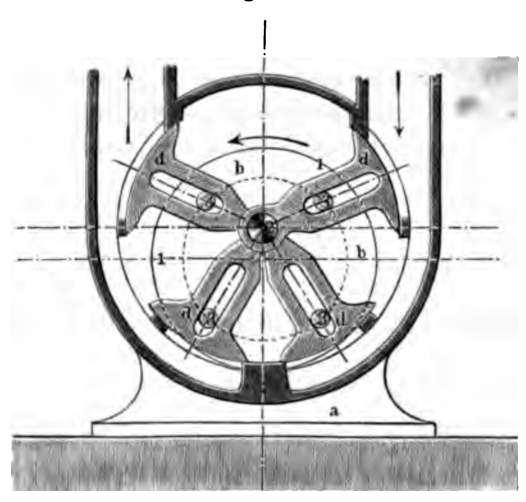


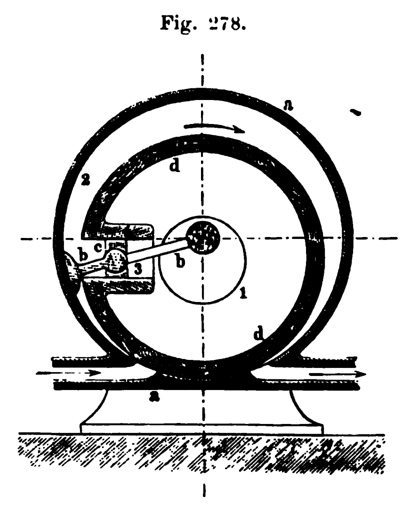
Fig. 277.



Tafel V. Hier ist das Glied *d* als Kapsel und, wenn man will, auch zugleich als Kolben gebildet. Doch kann man auch die als cylindrische Trommel gestaltete Koppel *b* als den Kolben ansehen, was auch der Zeichnung beigeschrieben ist.

Die Koppel *b* kann auch mit niederem Paarschluss als Kolben gestaltet werden. Ich füge, um dies näher zu zeigen, in Fig. 278 eine Lösung dieser Art bei. *d* ist als Trommel, *c* als Verschlussstück gebildet. Die Maschinenpraxis hat indessen auch eine verwandte Lösung hervorgebracht. Es ist die in Fig. 18 der Tafel V. dargestellte rotirende Dampfmaschine von Fletcher (Amerika?) 1843, die ich nur aus schriftlichen Quellen kenne. Es sind der Getriebe $(C_3''P^{\perp})^{a}$ drei vereinigt. Merkwürdig ist die Form, in welcher die Koppel *b* hier zur Ausführung gekommen ist. Es

Fig. 278.



war vornehmlich, um diese verständlich zu machen, dass ich die Konstruktion Fig. 278 beigefügt habe. Statt *b* einen zentralen Zapfen 2 von gewöhnlicher Form zu geben, ist der Zapfen 2 bis an den inneren Umfang der Kapsel *a* erweitert worden, und an *a* als kreisringförmige Rinne, an den Kolben *b* als kurzes Ringstück (A^+) ausgeführt. Diese seltsame Formung verdeckt den eigentlichen Inhalt des Mechanismus ausserordentlich; nach ihrer Analysirung reiht sie sich aber ungezwungen an die übrigen Ausführungsweisen an[46].

§. 83.

Kurbel-Kapselwerk aus der oscillirenden Schubkurbel.

Fig. 1. Taf. VI.

Wie die oscillirende Schubkurbel $(C_3''P^{\perp})^c$ auch als blosser Bewegungsmechanismus das am seltensten angewandte von den vier Getrieben ist, welche aus der Kette $(C_3''P^{\perp})$ hervorgehen, so hat sie auch die seltenste Anwendung als Kapselwerk gefunden. Mir ist nur ein einziges dergleichen bekannt. Es ist von Simpson & Shipton 1848*) zu einer Dampfmaschine verwendet worden, die auf der Weltausstellung in London 1851 thätig war und ein nicht geringes Aufsehen verursachte. Die Erfinder sind dieselben, welche die in Fig. 12, Taf. IV. dargestellte Maschine erfanden; sie haben die dort erwähnten Dunkelheiten der Vorstellung in fast noch erhöhtem Maasse bei der vorliegenden Einrichtung vorgebracht. Dies erklärt sich daraus, dass sie veranlasst waren, einen besonderen Hilfsmechanismus zur Ueberleitung der Bewegung des Gliedes *a* auf eine in ruhenden Lagern rotirende Achse anzubringen. Dieser Hilfsmechanismus besteht aus einem Parallelkurbelpaare, welches einerseits an *a*, andererseits an einer zum Zapfen 3 konaxialen Drehachse, der Schwungradachse, angreift. Die beiden Koppeln dieses Parallelkurbelpaares sind parallel zur Hauptkoppel *b* und bilden so zu sagen mit ihr zwei Paare von Parallelkurbeln. Sie sind in der That ganz geeignet, die Lagen-

*) Johnson, Imperial Cyclopaedia; auch Newton, London Journal of Arts 7. Conjoined Series 27 (1850). S. 207; auch Repertory of Patent inventions, Enlarged Series. Bd. XIII. (1849). S. 287.

wechsel von a, welche, wie wir wissen, 360° und Vielfache davon durchlaufen (siehe §. 69), auf die durch 3 gehende Achse zu übertragen. Was nach deren Weglassung übrig bleibt, ist eine um d verminderte, auf c gestellte Kette $(C_3''P^{\perp})$, bei welcher die Kurbel a als cylindrischer Kolben und treibendes Glied, der zum Stege gewordene Schieber c als Kapsel ausgebildet ist. Die Gesammtformel des Mechanismus lautet hiernach: $(C_3''P^{\perp})^{\frac{c}{a}} - d + (C_4'')$, und der Ausdruck für die Kapselungsweise: $(V^{\pm}) = a, c$. Bei näherer Betrachtung und Vergleichung mit Fig. 12, Tafel IV. wird man auch leicht verstehen, warum ein und derselbe Erfinder in beiden Fällen uns entgegentritt; denn das Getriebe $(C_3''P^{\perp})^c - d$ ist eine reine Umkehrung des obigen $(C_3''P^{\perp})^b - d$ *). Die Paarung zwischen c und a ist eine höhere, die Herbeiführung des dampfdichten Schlusses also schwierig. Leicht hätte man niedere Paarung und damit gute Dichtungsfähigkeit herbeiführen können, wenn man nur d nicht weggemindert hätte. Auch hätte sich dann die gewöhnliche Form des Dampfcylinders nebst Kolben, welcher etwa zweitheilig auszuführen gewesen wäre, anwenden lassen. Ich darf es nach allem, was wir bereits verhandelt, dem Leser anheimgeben, diese weit praktischere Form aufzusuchen, ohne indessen dazu ermuntern zu wollen, dass man die Dampfmaschine so verbessert wieder aufs Tapet bringen solle. Wie die Maschine hier vor uns liegt, ist sie in hohem Grade unpraktisch, jedenfalls viel unpraktischer als die alte gewöhnliche direkt wirkende Dampfmaschine. Was soll man aber zu der merkwürdigen Begriffsverschiebung sagen, wenn Herr Shipton sich in seinem Vortrage vor den Maschinen-Ingenieuren in Birmingham folgendermaassen äussert: „wenn (wie hier) der Dampf so zur Wirkung gebracht werden kann, dass er auf die Kurbel unmittelbar einwirkt, so gibt das ein einfacheres und geeigneteres Mittel (zur Ausnutzung der Dampfkraft) ab, als das jetzt gebräuchliche"? Dies sagt er in demselben Augenblicke, wo er zwischen Kolben und Schwungradachse das konstruktiv so schwierig herzustellende Parallelkurbelgetriebe eingeschaltet hat!

Die Maschine hat gut gearbeitet; aber es hat, wenn dies lobend anerkannt und für sie angeführt worden ist, eine Verwechslung

*) Für die kinematische Sammlung der königlichen Gewerbe-Akademie habe ich auch die beiden Mechanismen durch ein und dasselbe Modell, eine in ihren Umkehrungen aufstellbare Kette, dargestellt.

zwischen der Bravour der Maschinenbaukunst und dem eigentlichen praktischen Werthe der Leistung stattgefunden, eine Verwechslung, welche nur zu oft schon bei dem Problem der rotirenden Dampfmaschine für das Urtheil gewiegter tüchtiger Männer verhängnissvoll geworden ist.

§. 84.

Kurbel-Kapselwerke aus der rotirenden Kreuzschleifenkurbel oder oscillirenden Kreuzschleife.

Taf. VI. Fig. 2.

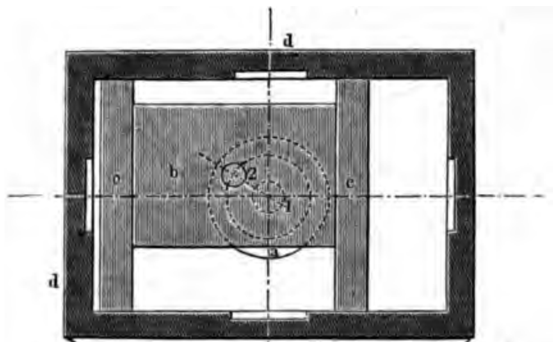
Die rotirende Kreuzschleifenkurbel (siehe §. 72) eignet sich gar nicht übel zur Bildung der Dampfmaschine und Pumpe. Ja, sie ist zu beiden zugleich in der Form einer sogenannten Dampfpumpe sehr häufig verwendet worden. Fig. 2, Taf. VI. führt eine solche in schematischer Darstellung vor Augen. Die Kreuzschleife *c* ist oben und unten als Kolben, der Steg *d* entsprechend als Kapsel gestaltet; für die Dampfmaschine ist doppelte Wirkung, für die Pumpe einfache gewählt, im übrigen der Mechanismus normal ausgeführt. Seine unbestimmte Formel ist deshalb die früher (§. 72) erörterte: $(C_2'' P_{\frac{\perp}{2}})^d$, die bestimmte: $(C_2'' P_{\frac{\perp}{2}})^{\frac{d}{c}}$.

Betrachtet man die Hin- und Herbewegung des Schiebers *b* in der Schleife *c* etwas näher, so bemerkt man, dass er in derselben wie in einer Art Kapsel nach Kolbenart hin- und hergeht und zwar mit demselben Schube, mit welchem *c* sich gegen *a* bewegt. Bildete man also *b* mit dem Prisma 2 an *c* als Kolben und *c* selbst Kapsel aus, so könnte man auch hier allenfalls ein Druckkraftorgan wirken lassen, und solchergestalt eine kettenschlüssige Todpunktüberschreitung (vergl. §. 46) erzielen. Es wäre zu verwundern, wenn nicht schon ein kombinatorischer Kopf auf diese Idee verfallen wäre. In der That hat der Amerikaner Root eine Dampfmaschine auf diesen Gedanken gegründet*). Fig. 279 zeigt das Schema derselben. Die beiden Kapseln *d* und *c* bieten prismatische Räume von rechteckiger Grundfläche, so dass alle Dichtungsflächen Ebenen werden, ihre Einschleifung also immerhin nicht ganz leicht ist. Doch sind sie jedenfalls niederen Paaren angehörig, lassen also

*) Scientific American, New Series. Bd. X. (1864), S. 193.

mit Sicherheit einen dichten Verschluss zu. In der bestimmten Formel haben wir sowohl *c* als *b* als treibende Glieder zu bezeichnen, und haben deshalb: $(C_2''P\frac{\perp}{2})^{\frac{d}{b+c}}$. Unsere Quelle hält die Ma-

Fig. 279.



schine für „die wahre Quintessenz von Einfachheit“, ein Urtheil, dem man nur sehr bedingt beistimmen kann, wenn man den Maassstab der praktischen Brauchbarkeit ernstlich mit anlegt.

§. 85.

Kurbel-Kapselwerke aus der rotirenden Kreuzschleife.

Taf. VI. Fig. 2 bis 6.

Aus der Kette des vorigen Mechanismus wird durch Stellung auf *a* die rotirende Kreuzschleife $(C_2''P\frac{\perp}{2})^a$ erhalten, deren Verwendung zu Bewegungszwecken wir in §. 72 besprochen haben. Auch dieser Mechanismus ist als Kapselwerk, und zwar für die Dampfmaschine ausgebildet worden.

Fig. 3 zeigt die Dampfmaschine von Witty, 1811 ausgeführt*). Taf. VI. Denkt man sich aus der Maschine Fig. 2 die Pumpe entfernt, so lässt sie sich durch Umkehrung des Getriebes unmittelbar in die

*) Siehe Severin's Abhandlungen (1826) S. 62.

Maschine Witty's verwandeln. Die Kurbel *a* wird zum Stege oder Gestell, der Cylinder *d* und der Schieber *b* rotiren, die Kreuzschleife *c* macht ihre uns bekannten kardioidischen Bewegungen. Wie wir nämlich aus dem Früheren wissen, sind die Polbahnen zwischen ihr und *a* Cardankreise, deren grösserer eben der Schleife *c* angehört. Die Kreise sind in Fig. 3 eingetragen. Da wo die Kreuzschleife *c* mit *d* gepaart ist, also im Paare 4, ist sie einerseits als blosse Prismenführung, andererseits als Kolben, d. i. als treibendes Glied ausgeführt, wonach *c* in den Nenner des Exponenten der Formel zu setzen ist.

Witty scheint die Bewegungsform mit Interesse verfolgt, und die Punktbahnen der Kreuzschleife aufgesucht zu haben. Denn wir sehen ihn eine zweite Maschine, Fig. 4, ausführen (in Hull), bei welcher die Kette um den Schieber *b* vermindert und dafür mit höherer Paarung zwischen *c* und *a* ausgeführt ist. Der Steg *a* ist mit einem Rahmen ausgerüstet, der nach einer Aequidistanten einer (verlängerten) Kardioide profilirt ist (vergl. §. 22 und 35). Die durch den Mittelpunkt von 1 gehenden Durchmesser der Kardioide sind konstant, weshalb die Stange *c* mit ihren beiden cylindrischen Rollen stets den Rahmen berührt, also in ihm geschlossen geht. Praktisch brauchbar kann man die Witty'sche Maschine Fig. 4 gewiss nicht nennen; dennoch ist sie 1858 in fast unveränderter Form durch Andrew wieder von den Todten erweckt worden *).

Taf. VI.

Beachtet man die exzentrische Stellung der Drehachse 1 in dem kardioidischen Ringe, so sieht man, dass es nicht schwer sein wird, das Glied *c* als Kolben innerhalb einer Kapsel von kardioidischem Profil wirksam zu machen. Dies ist mehrfach geschehen, u. a. von Franchot in Paris. Fig. 5 zeigt das Schema seiner Maschine. Das Glied *d* ist zur Trommel ausgebildet, *c* ist Kolben, mit seinen beiden halbcylindrischen Enden an der Kapselwand anliegend. Eine sehr ähnliche Maschine stellte Serkis-Ballian in Paris 1867 aus **).

Taf. VI.

Woodcock verband wieder zwei der in Rede stehenden Ketten mit einander ***), siehe Fig. 6, so dass die allgemeine Formel

---

*) Newton, London Journal of Arts 7. New Series, Bd. 9 (1859), S. 335.

**) 1861 erhielt er ein franz. Patent auf eine Anwendung der vorliegenden Maschine als Pumpe, siehe Propagation industrielle, Bd. 4 (1869) S. 241; ferner über die Dampfmaschine: Génie industriel Bd. 29 (1865) S. 203.

***) Newton, London Journal of Arts 7, Conjoined Series Bd. 23 (1843) S. 93.

2 $[(C_2'' P \frac{\perp}{2})^s - b]$ zu lauten hat. Das Profil der Kapselhöhlung ist wieder als Aequidistante einer Kardioide auszuführen, da die durchgehenden Schieber von unveränderlicher Länge, und aussen cylinderförmig gerundet sind. Woodcock scheint, den Zeichnungen in unserer Quelle nach, statt der Kardioide einen Kreis gewählt zu haben. Die Annäherung lässt vieles zu wünschen übrig, wird aber bei etwas elastischen Dichtungstheilen um so genauer, je kleiner die Exzentrizität oder Kurbellänge a gewählt ist. Woodcock hat dieselbe sehr klein gemacht.

Von den vier besprochenen Maschinen haben die drei letzten die geringste Bedeutung, da die Schwierigkeiten der Herstellung des kardioidischen Profils sich nicht durch irgend welche damit erzielte Vortheile rechtfertigen lassen; auch die erste Maschine, obwohl der dampfdichte Schluss bei ihr nicht schwierig zu bewirken ist, überhaupt nur niedere Paare in ihr vorkommen, gewährt keine praktischen Vorzüge.

§. 86.

Kurbel-Kapselwerke aus der rotirenden Bogenschubkurbel.

Taf. VI. Fig. 7 bis 12.

Auch das Kurbelviereck (C_4'') ist mehrfach als Kraftmaschine und Pumpe ausgebildet worden, indem man einzelne Glieder zu Kapsel und Kolben gestaltete. Zunächst sind hier mehrere Maschinen dargestellt, bei welchen die rotirende Bogenschubkurbel $(C_4'')^d$ als Grundlage dient.

Fig. 7 zeigt einen Mechanismus, welcher von Bramah als Pumpe*), von Morgan 1830**) als Dampfmaschine und von Ericson ebenfalls als solche ausgeführt wurde***). Die Schwinge c ist in allen drei Fällen zum Kolben, der Steg d zur Kapsel gemacht. Die Kolbenbewegung ist eine Oscillation in Kreisbogen um die Achse 4. Bei Benutzung der Maschine als Pumpe hat die Formel zu lauten: $(C_4'')^{\frac{d}{c}}$. Taf. VI.

*) Laboulaye, Cinématique (1864) S. 776.

**) Propag. industrielle, Bd. III. (1868) S. 151.

***) Johnson, Imperial Cyclopaedia: Ericson's semicylindrical Marine Engine, Description of the plates, S. 3.

24*

Statt den Kolben aus einem einzigen Sektor zu bilden, kann man auch gleichzeitig zwei (oder mehr) solche Sektoren anwenden. Taf. VI. Gray, Fig. 8, gab dem Sektor in dem äusseren Umfang Kugelzonengestalt und entsprechend der Kapsel *d* Kugelform, weshalb seine Maschine auch sphärische Dampfmaschine genannt worden ist*). In dieser Formgebung ist irgend ein Vortheil nicht zu erblicken. Thompson, welcher eine Zwillingsdampfmaschine mittelst des Mechanismus bildete**), machte das Glied *c* zur Kapsel, *d* zum Kolben, $(V^{\pm}) = d$, *c* liess aber den Kolben stille stehen, die Kapsel oscilliren.

Degrand gestaltete den Kolben *c* als Sektor eines sogenannten cylindrischen Ringes („Globoid-Ring") ***), welcher an zwei Mündungen der Kapsel *d* durch Stopfbüchsen abgedichtet wurde, Taf. VI. siehe Fig. 9 †). Die Herstellung bleibt immerhin sehr schwierig.

Fig. 10 stellt die rotirende Dampfmaschine von Dundonald dar ††). Hier ist die Kette ganz anders verwendet, nämlich die Kurbel *a* zum Kolben, sodann aber *d* wieder zur Kapsel gemacht. Der Mechanismus ist doppelt angewandt, um das unzeitige Ueberströmen von Dampf nach dem Ausweg hin zu verhüten. Die Koppel *b* ist in ein bronzenes Dichtungsstück zusammengezogen, und sowohl beim Zapfen 3, als beim Zapfen 2, der Kurbelwarze, nicht kinematisch geschlossen, vielmehr nur durch den Dampfdruck oder durch ausserhalb angebrachte Belastung geschlossen. Die Schwinge *c* bildet einen in der Kapsel oscillirenden Flügel. Wegen der Kraftschlüssigkeit von *b* hat die Formel zu lauten: $2\left[(C_4'')^d - \frac{b}{2}\right]$, und ferner $(V^{\pm}) = a, d$. Man hat nicht zu vergessen, dass die Kurbel *a* sowohl seitlich an den Wänden, als auch aussen am Umfang als die Kapsel dampfdicht berührend angenommen ist. Die kleinern Dichtungstheile sind nicht in die Zeichnung eingetragen.

---

*) Génie industriel, Bd. 12 (1856) S. 15; Schweizerische polyt. Zeitschrift Bd. I (1856) S. 140; ferner Wood-Gray's Maschine, Génie industriel Bd. 18 (1859) S. 317.

**) Newton, London Journal of Arts 7. Conjoined Series, Bd. III (1834) S. 125.

***) Vergl. Berliner Verhandlungen, 1872, S. 248, Anmerkung 3.

†) Propag. industrielle Bd. 3 (1868) S. 245; das franz. Patent datirt von 1837.

††) Bataille & Jullien, Machines à vapeur, Bd. I (1847) S. 445; ferner Repertory of Patent inventions, Enlarged Series, Bd. II (1843) S. 193.

Cochrane hat auch dieser Form der rotirenden Dampfmaschine seine Aufmerksamkeit zugewandt; Fig. 11 stellt die von ihm gewählte Anordnung dar*). Hier sind der Mechanismen drei vereinigt; die Koppel *b* ist völlig weggemindert, die Schwinge *c* selbst auch ähnlich wie vorhin kraftschlüssig mit *a* zusammen gehalten. Den Dampf liess er durch Kanäle, welche im Innern von *a* ausgespart und mit Höhlungen der Achse 1 in Verkehr standen, ein- und austreten. Taf. VI.

Cooke bildete 1868 den Mechanismus $(C_4'')^d$ zunächst als Dampfmaschine**), bei welcher ebenfalls *a* Kolben, *d* Kapsel ist, die Schwinge *c* aber als gebogener Schieber durch die Gehäusewand aus- und eingleitet, mit dem Ende kraftschlüssig auf dem Kolben *a* aufliegend [Formel: $(C_4'')^d - b$], später aber als Gebläse in der in Fig. 12 dargestellten Form***). Hier ist die Kette wieder vollständig, indem Kurbel, Koppel, Schwinge und Steg ausserhalb der Kapsel vollständig ausgebildet sind; ausserdem ist *d* zur cylindrischen Kapsel, *a* zum Kolben ausgebildet, an dessen Umfang sich ein Fortsatz der Schwinge *c* stets anlegt. Die Berührung zwischen beiden ist durch ein *c* angehöriges, aus der Achse 3 beschriebenes Cylinderstück vermittelt. Das Cooke'sche Gebläse ist in grossen Abmessungen ausgeführt, und dient als Grubenventilator. Taf. VI.

Die letztgenannte Maschine ist wohl die einzige unter den in Fig. 7 bis 12 dargestellten, welche als praktisch bezeichnet werden kann, weil sie nicht schwer auszuführen und bei den verhältnissmässig geringen Druckunterschieden, welche die Grubenventilation erfordert, auch leicht genügend dicht zu halten ist.

§. 87.

Kurbel-Kapselwerke aus der rotirenden Doppelkurbel.

Taf. VI. Fig. 13 bis 16.

Die rotirende Doppelkurbel $(C_4'')^s$ ist mehrfach zum Kapselwerk gestaltet worden; hier sind vier Maschinen dieser Art vorgeführt.

*) Propagation industrielle, Bd. 3 (1868) S. 182; Patent vom Jahre 1831.

**) Propagation industrielle, Bd. 4 (1869) S. 337.

***) Engineering 1869, S. 269 und 271.

Fig. 13 stellt eine Pumpe, konstruirt von Heppel (Schweiz), dar *). Sie besteht aus vier vereinigten rotirenden Doppelkurbeln. Der Gedankengang, der zu der Konstruktion geführt haben mag, hat eine unverkennbare Aehnlichkeit mit demjenigen, welcher zu der Maschine Fig. 16 Tafel V. geführt hat. Das ruhende Glied *a* ist als Kapsel, die eine der rotirenden Kurbeln, *d*, als Kolben ausgebildet, während die zweite rotirende Kurbel, *b*, in Gestalt einer um den Zapfen 2 drehbaren Scheibe mittelst der Koppel *c* die an Geschwindigkeit periodisch ab- und zunehmende Drehung der Kolben vermittelt.

Eine nahe Aehnlichkeit mit der vorstehenden Maschine hat der vielfach praktisch verwendete Ventilator von Lemielle **), Fig. 14. Hier ist auch *a* als Kapsel, aber nicht *d*, sondern *c* als Kolben gestaltet, und die Kurbel *b* als eine die Hohlräume in angemessener Weise trennende Trommel ausgeführt. Dieselben Gründe, welche für Cooke's Grubenventilator sprechen, gelten auch für den Lemielle'schen, welcher, in grossen Abmessungen ausgeführt, in Belgien und England viele Freunde hat.

Taf. VI.

In Fig. 15 sehen wir eine uralte Pumpe, wiederum von Ramelli herrührend ***), dargestellt. Sie besteht aus drei vereinigten Getrieben der vorliegenden Gattung, und könnte so angesehen werden, als sei sie durch Kettenverminderung aus dem Lemielle'schen Rade gebildet. Es fehlt ihr nämlich deren Führungskurbel *d*, und auch die höhere Paarung, welche dieselbe ersetzen könnte, so dass der Kolben *c* aussen nur kraftschlüssig anliegt. Die allgemeine Formel lautet hiernach:

Taf. VI.

$$3\left[(C_4'')^s - d - \frac{c}{2}\right].$$

Das Ganze ist, mit dem Lemielle'schen Rade zusammengehalten, ein interessantes Beispiel zu der in Kapitel VI besprochenen Entwicklungsweise der Maschine, indem die neuere Form des Lemielle die kinematische Vervollkommnung der alten des Ramelli darstellt.

*) Propagation industrielle, Bd. 4 (1869) S. 85; franz. Patent vom Jahre 1855.

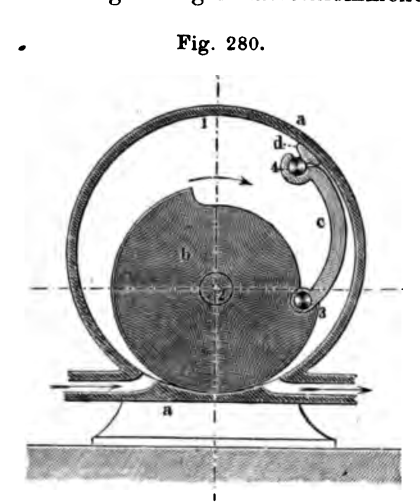
**) Siehe Weisbach's Mechanik, Bd. 3, 2. Abth., S. 1118, wo ein zweiflügliges Lemielle'sches „Kolbenrad" behandelt ist; auch Dingler, polyt. Journal Bd. 150; sowie Civil-Engineer and Architects-Journal 1858. Sept. (dreiflügliges Rad); auch Civil-Ingenieur I. (1854) S. 83 (sechsflügliges Rad).

***) Ramelli, arteficiose Machine (1588), S. 60.

In Fig. 16 tritt uns endlich wieder der nimmer müde Lord Cochrane mit einer als Dampfmaschine gedachten Umgestaltung der Ramelli'schen Pumpe entgegen. Auch hier fehlt das Glied *d* ganz und ist das Glied *c* wieder kraftschlüssig. Die Maschine ist auf alle Fälle sehr unvollkommen. Taf. VI.

Aus schriftlichen Quellen ist mir endlich noch eine andere, unstreitig weniger unvollkommene Form der rotirenden Dampfmaschine bekannt, welche aus $(C''_4)^a$ gebildet ist. Es ist die in Fig. 280 dargestellte Maschine von Rösky in Elbing. Die Kette ist nur einmal angewandt, was dazu zwingt, durch den Steuerungsschieber den unzeitigen Durchfluss des Dampfes zu verhindern. Das Glied *d* ist kraftschlüssig an die innere Kapselwand angeschlossen. Die Formel haben wir also, da *c* treibendes Glied ist, zu schreiben: $(C''_4)^{\frac{a}{c}} - \frac{d}{2}$; für die Kapsel- und Kolbenbildung gilt: $(V\pm) = c, a$.

Fig. 280.



§. 88.

Kapselwerke aus den konischen Kurbelgetrieben.

Unter den zahlreichen Dampfmaschinen und Pumpen, welche wir bis hierher besprochen und analysirt haben, waren viele, welche sich nach der älteren Methode nur schwer hatten erklären, schwer beschreiben lassen, und die deshalb sehr vielen Mechanikern mehr oder weniger dunkel geblieben waren. Neben diesen aber steht eine Maschine, oder vielmehr eine kleine Reihe von Maschinen, welche hinsichtlich des Unverstandenseins alle übrigen noch weit hinter sich zurückgelassen haben. Ich meine die sogenannte Scheibenmaschine, „Disc-engine," und die mit ihr verwandten rotirenden Dampfmaschinen oder Pumpen. Diese Maschinen führen seit ihrer

Erfindung, das ist nun über 40 Jahre, ein räthselvolles Dasein vor unsern Augen. Ein berühmter Philosoph der verflossenen Jahrzehnte soll am Abend seines Lebens von seinen Schülern gesagt haben, dass sie ihn sämmtlich, einen ausgenommen, nicht verstanden hätten, jener eine aber — habe ihn falsch verstanden. An diese Anekdote wird man bei dem Studium der genannten Maschinen unwillkürlich erinnert. Denn auch von ihnen kann man sagen, dass nur wenige sie verstanden haben, diese wenigen aber, die Erfinder mit eingeschlossen, falsch!

Diese Maschinen sind nicht ganz selten. Eine derselben stand 1867 auf der Pariser Weltausstellung zur Schau; eine andere verbreitet ihre Wirkungen durch die von ihr umgetriebenen Schnellpressen der Times alltäglich über die Welt. Wo aber auch von denselben eine erklärende Beschreibung bis jetzt versucht worden ist, findet man nach meiner Erfahrung ein herakleitisches Dunkel über das eigentliche Wesen des Mechanismus ausgebreitet. Die sonderbarsten Wendungen und Windungen werden von den Patentbeschreibern gemacht, um von dem, was ihnen eine glückliche Eingebung geschenkt, Andern eine Vorstellung zu geben; mit sichtlicher, manchmal recht verlegener Eile, oft aber auch mit dem geraden Zugeständniss, die Sache nicht verstehen zu können, geht der Theoretiker, dem die Maschine unter die Feder geräth, über das kinematische Wesen derselben hinweg.

Die Ursache dieser Unklarheit liegt ganz allein in der bisher herrschend gewesenen Methode, die Bewegung selbst beurtheilen zu wollen, ehe man die sie bedingende Zwangläufigkeit untersucht hatte. Was wir aber in der Scheibenmaschine und ihren Abarten vor uns haben, ist nichts anderes als eine Reihe von Kapselwerken, welche aus dem konischen Kurbelgetriebe gebildet sind. Indem man ganz so verfuhr, wie wir es oben bei den cylindrischen Kurbelgetrieben (§. 78) erörterten, nämlich indem man geeignete Kettenglieder als Kapsel und Verdränger gestaltete und die erforderliche Steuerung zufügte, erhielt man, und erhält man bis in die neueste Zeit die verschiedenen Abarten der konischen Kurbel-Kapselwerke, welche bis jetzt aus der von uns allgemein übersehbaren Reihe zur Erörterung gekommen sind. Bemerkenswerth ist, dass die empirische Findung sich bis jetzt nur innerhalb des beschränkten Gebietes bewegt hat, wo in der Kette ($C_4^{\angle}$) drei Glieder rechtwinklig sind, die Kette also die besondere Form ($C_3^{\perp} C^{\angle}$) besitzt. Es ist die Kette, welche wir oben (§. 75 C) die rechtwink-

lige Kreuzgelenkkette genannt haben. Wir stellten dort fest, dass sich aus ihr drei Mechanismen bilden lassen; zwei derselben sind von der Spürkraft der empirischen Suche in Kapselwerkform gefunden, und mit jener Energie, welche das Problem der rotirenden Maschine einzuflössen vermag, in mehreren Formen auch ausgeführt worden.

§. 89.

Kapselwerke aus der rotirenden Kreuzgelenkkurbel.

Taf. VII. Fig. 1 bis 3.

Die vorzugsweise mit dem Namen Scheibenmaschine belegte rotirende Dampfmaschine ist in Fig. 1 dargestellt. Sie wird gewöhnlich als die Davies'sche*), oder auch nach ihrem Verbesserer in jüngerer Zeit die Bishop'sche Scheibenmaschine genannt. Die ersten Erfinder sind gemäss den gedruckten Quellen die Brüder Dakeyne (England), welche 1830 sich die Maschine patentiren liessen, und sie sowohl als Dampfmaschine, wie auch als Pumpe konstruirten**). Mittheilungen über dieselbe finden sich häufig; sehr vollständig ist die bei Johnson***) über die durch Bishop mit Verbesserungen ausgeführte, oben erwähnte Dampfmaschine, welche die Times-Druckerei treibt. Wir haben nichts anderes vor uns, als das Getriebe $(C_3^{\perp} C^{\angle})^d$, oder die rotirende Kreuzgelenkkurbel (siehe §. 75, Nr. 15), in welcher das feststehende Glied *d* als Kapsel, das Glied *b*, die Koppel, als Kolben ausgebildet ist. Es ist ganz dieselbe kinematische Kette, welche, wenn sie auf *a* gestellt wird, die Cardanische oder Kreuzgelenk-Kupplung, auch Hooke'scher Schlüssel genannt, liefert.

Die Kurbel *a* ist leicht zu erkennen; sie dreht sich um den Zapfen 1 und greift mit dem Zapfen 2 die Koppel *b* an. Diese trägt in einem Abstande von 90° ihren zweiten Zapfen, Nr. 3,

---

*) In Folge eines bei Bernoulli stehenden Druckfehlers, der schon fünf Auflagen erlebt hat, nannte man sie bei uns Jahre lang die Darries'sche Maschine.

**) Reportory of Patent inventions, Bd. II. (1831) S. 1; Newton, London Journal of Arts etc. Second Series, Bd. 9 (1834) S. 19.

***) Johnson, Imperial Cyclopaedie, Steam engine, S. 19, Tafel XII bis XIV.

welcher in den Schieber *c* eingreift. Letzterer seinerseits dreht sich um eine, normal zur Bildebene gerichtete, also ebenfalls um 90° von 3 abstehende Achse. Das Cylinder- oder, allgemeiner gesprochen, Drehkörperpaar zu dieser vierten Achse ist bei dem Schieber *c* nur in Sektorform vorhanden, nämlich einestheils als Profilirung des Schiebers *c*, anderntheils als die auf dem Scheitel der Kapsel angebrachte Gleitbahn desselben. Wir sehen also in den Gliedern *a*, *b*, *c*, *d* die kinematische Kette

$$C^{+} \ldots \angle \ldots (C) \ldots \perp \ldots (C) \ldots \perp \ldots (C) \ldots \perp \ldots C_{=}^{-}$$

vor uns, welche auf das rechtwinklige, dem spitzwinkligen Gliede *a* benachbarte Glied *d* gestellt ist.

Wichtig ist nun vor allem das Verständniss der Kapsel- und Kolbenbildung. Als Kolben ist das Glied *b* ausgebildet. Es hat die Form einer ebenen Scheibe erhalten, welche zunächst aussen und innen mit kugelförmigen Schlussflächen die Kapsel *d* berührt: ausserdem beschreibt sie bei ihrer Bewegung mit ihren ebenen Hauptflächen geometrisch zwei Normalkegel als Umhüllungsfiguren am ruhenden Gliede *d*. Diese Normalkegel sind als innere Kapselwände ausgeführt, die in der Nebenfigur bei *AHG* und *CIK* deutlich erscheinen. Sie werden von den Flächen *AB* und *CD* des Kolbens immer in je einer Erzeugenden berührt, da die Achse 2 stets denselben Winkel *α*, das Komplement des Kegelspitzenwinkels, mit der Achse einschliesst.

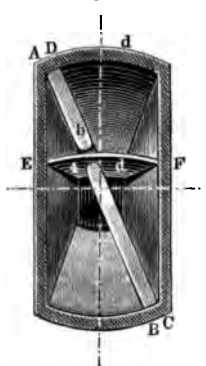
Man darf nun nicht vergessen, dass die geometrische Achse des Zapfens 3 sich stets in einer Ebene — es ist die Bildebene der Figur zur Linken — bewegt. Parallel zu derselben Ebene ist aber eine Scheidewand, 4, in die Kapsel hineingesetzt. Sie ist von ebenen Flächen begrenzt, stellt aber nichts anderes vor, als einen Drehkörper zu einer zur Bildfläche senkrechten Achse, die durch die Kapselmitte geht. Sie ist mit anderen Worten nur eine Fortsetzung des Drehkörper-Ringstückes 4, in welchem der Schieber *c* gleitet. Ja die Fortsetzung des Schiebers *c* ist neben ihr ebenfalls vorhanden, wie die Nebenfigur deutlich macht. Letztere Figur ist eine Projektion auf eine gegen den Horizont der ersten Figur etwas geneigte Bildfläche; sie lässt deshalb von der genannten Scheidewand noch eine Flanke sichtbar. Ausserdem zeigt sie in *L* den fortgesetzten Schieber *c* in der Form zweier Cylinderabschnitte, welche einerseits die Wand *EF* berühren, andererseits in der Scheibe *b* ihren Hohlcylinder finden. Beide Paarungen sind nie-

dere, so dass diese Fortsetzung des Schiebers *d* geeignet ist, als Dichtungskörper zu dienen. Zwischen ihm und dem auswendig liegenden Schieber *c* besteht kinematisch kein Unterschied; das Paar 4 ist nur aussen in der Form $R\underset{=}{+}R^-$ (oder $C\underset{=}{+}C^-$), innen in der Form $R\underset{=}{-}R^+$ (oder $C\underset{=}{-}C^+$) ausgeführt; und ebenso ist das Paar 3 aussen als $C\underset{=}{-}C^+$, innen als $C\underset{=}{+}C^-$ gestaltet.

Nimmt man nun an, dass die zwischen der Scheibe *ABCD* und den Kegelflächen der Kapsel stattfindende höhere Paarung einen dichten Verschluss abgebe, so ist die periodische Durchlaufung des Kapselraumes durch den Kolben, geeignet zur Einwirkung eines Druckkraftorgans, alsbald einleuchtend. Allgemein nämlich trennt die Scheidewand *EF* den hufförmigen Raum, welcher sich auf jeder Seite der Scheibe befindet, in zwei Theile, von denen der eine von Null bis zur ganzen Grösse des Hufes zunimmt, und dann wieder auf Null abnimmt, während ihn der andere Theil ergänzt, also die entgegengesetzten Wandlungen durchläuft. Eine passende Steuerung macht demnach die Maschine, sei es zur Pumpe, sei es zur Kraftmaschine, und zwar zur doppeltwirkenden, geeignet.

Ich muss hier einschieben, dass ich den geschlitzten Cylinder *L*, welcher kinematisch mit dem Schieber *c* identisch ist, auf eigene Gefahr eingetragen habe, indem in den Beschreibungen regelmässig nur von einer Liderung oder Packung, und auch von dieser nicht immer in klarer Weise, die Rede ist. Auch in den oben angeführten schönen Zeichnungen bei Johnson fehlt gerade dieser eine wichtige Punkt. Nach mehreren der Patentzeichnungen möchte man annehmen, dass in der Scheibe nur ein radialer Schlitz von dem hierneben angedeuteten Querschnitt angebracht sei. Dies würde der Verminderung der Kette um den Schieber *c* und der dafür zugefügten Paarung nach Fig. 270 entsprechen, also analog sein der Verminderung, welche bei Lamb's Maschine, Fig. 5 Taf. IV, besprochen wurde. Ferner ist zu bemerken, dass in den ersten (Dakeyne'schen) Ausführungen, und auch noch vielfach nachher, der äussere halbkreisförmige Bügel an *b* nebst dem Zapfen 3 und dem äussern Schieber *c*

Fig. 281.



ebenfalls fehlt, wo dann die Kette des Gliedes *c* ganz entbehrt. Da *b* das treibende Glied ist, hat die bestimmte Formel des Mechanismus zu lauten: $(C_3^{\perp} C^{\angle})_{\frac{d}{b}}$.

Der dampfdichte Schluss an der höheren Paarungsstelle zwischen Scheibe und Kegelmantel ist schwer herzustellen. Bishop hat die widerstrebende Aufgabe dadurch zu lösen gesucht, dass er jeden der Kegelmäntel mit einem vollständigen Panzer von ebenen Dichtungsplättchen belegte, welche auf die Scheibe aufgeschliffen sind, und von rückwärts durch nachstellbare Federn angepresst werden. Die Bravour der Ausführung scheint über alle Schwierigkeiten triumphirt zu haben. Man erkennt aber hieran, wie weit der Reiz des Ungewöhnlichen und Sonderbaren, der die Maschine umgeben hat und für Viele noch umgibt, zu führen vermocht hat.

Suchen wir unter den Kapselwerken, welche aus den cylindrischen Kurbelgetrieben gebildet worden sind, ein Gegenstück zu der Scheibenmaschine, so könnte es bei der rotirenden Schleifenkurbel $(C_2'' P_2^{\perp})^d$ sein, da bei ihr drei unendlich lange Glieder vorkommen, welche den drei rechtwinkligen des vorliegenden Mechanismus entsprechen. Indessen ist die Rechtwinkligkeit im konischen Kurbelgetriebe nicht so entscheidend für die Gliedform, wie die Unendlichkeit bei dem cylindrischen. Deshalb können wir auch das entsprechende Beispiel unter den Getrieben $(C_3'' P^{\perp})^d$ suchen, und haben in der Lamb'schen Maschine, Fig. 5 Tafel IV., in der That etwas ganz Aehnliches wie hier vor uns. Auch dort ist *b* der Kolben und das treibende Glied, *d* die Kapsel; auch dort hat der Kolben *b* wegen Wegminderung des Schiebers *c* den Spalt, welcher auf dem geraden Stege hin- und hergeht; auch dort konnten wir das fehlende Glied *c* durch einen ähnlichen geschlitzten Cylinder wie hier ersetzen. Es ist sehr belehrend, diesen Vergleich auszuführen.

In Frankreich hat die Scheibenmaschine durch Bouché*) und durch Molard**) in einer von der besprochenen etwas verschiedenen Form Einführung gefunden; namentlich der letztere Maschinenbauer bemüht sich noch immer, sie als Dampfmaschine zu verbreiten. Die von beiden gewählte Form ist die in Fig. 2 angedeutete. Hier ist die Kapsel *d* über den Cylinder 2 des Gliedes *b* hinaus ausgedehnt, einen an *a* angebrachten Konus noch mit einschliessend.

Taf. VII.

---

*) Propagation industrielle, Bd. III (1868) S. 244; Patent von 1835.

**) Rapport du Jury international 1868, Bd. 9, S. 82.

Letzterer ist übrigens nichts anderes, als ein zu *a* regelrecht gehöriger Drehkörper, nämlich der Drehkörper 1. Es fehlt Bishop's äusserlich angebrachte Koppel *b* nebst Schieber *c*. Innerlich am Spalt der Scheibe scheint aber ein dem Schieber *c* entsprechendes Metall-Liderungstück angebracht zu sein *). Der dichte Verschluss zwischen Scheibe und Kegelmantel ist nur durch sorgfältige Herstellung der Flächen erzielt.

Fig. 3 zeigt eine ältere Form der Scheibenmaschine, von Davies 1837 angegeben und zur Pumpe bestimmt **). Hier ist das Glied *c* gänzlich weggemindert, ja auch die Kurbel *a* weggeschafft, dafür aber ein anderes Hilfsgetriebe, welches die Kurbel ersetzen soll, zugefügt. Es besteht aus einer zur Kapselachse normal gelegten Kurbel mit kugelförmiger Warze, welche mittelst einer gabelförmig gestalteten Koppel an einer auf *b* befestigten Querachse angreift. Die Querachse ist aus konstruktiven Rücksichten nicht normal zum Schlitze der Scheibe gesetzt, ein Fehler, der sich leicht hätte vermeiden lassen. Es entsteht eine grobe Annäherung an das genaue Getriebe $(C_3^{\perp} C^{\angle})^d$, welche allenfalls für eine Pumpe von geringer Druckhöhe ausreicht. Die ganze Konstruktion ist ziemlich werthlos. Taf. VII.

§. 90.

Kapselwerke aus dem oscillirenden Kreuzgelenk.

Taf. VII. Fig. 4 bis 6.

Das oscillirende Kreuzgelenk $(C_3^{\perp} C^{\angle})^b$ gibt kinematisch Resultate, welche von denjenigen der rotirenden Kreuzgelenkkurbel $(C_3^{\perp} C^{\angle})^d$ nicht verschieden sind. Dies wurde §. 75 bereits hervorgehoben. Hier habe ich dennoch die beiden Mechanismenklassen getrennt gelassen, weil wir dabei natürlicher zu den drei folgenden Mechanismen gelangen, indem sich dieselben fast ganz wörtlich als Umkehrungen der vorhin behandelten darstellen.

---

*) Siehe Tresca, Rapp. s. une machine locomobile de M. Molard, Bulletin de la soc. d'encouragement, 2. Série, Bd. 19 (1872) S. 49. Auch Tresca nimmt an, dass die Sonderbarkeit ihrer Wirkungsweise dem „vorübergehenden Erfolge" der Scheibenmaschine nicht fremd gewesen sei.

**) Newton, London Journal of Arts etc., Conjoined Series, Bd. XIX (1842) S. 18.

Taf. VII. Zunächst zeigt Fig. 4 eine nur der Erläuterung wegen eingeschobene wirkliche Umkehrung des Mechanismus in Fig. 1; *b* steht fest, die Kapsel *d* bewegt sich, *a* dreht sich um 2 statt um 1; der Schieber *c* steckt als Liderungscylinder in dem Schlitze der Kolbenscheibe an *b*. Die Figur wird die Maschine von Duncan*), Fig. 5, klar machen. Bei dieser ist ebenfalls *b* feststehend, die Kolbenscheibe aber als doppelkonischer Körper ausgebildet und mit einer kugeligen Kapsel ausgerüstet. Ferner ist der Drehkörper 1 an *a*, welcher in Fig. 4 als einfacher Cylinder ausgeführt ist, hier als Doppelkegel zur Achse *A A* gestaltet, welcher das Glied *d* ebenso oscilliren macht, wie dies bei Fig. 4 geschah. In der Mittelwand von *b* hat man sich wieder den Schieber *c* als Liderungscylinder, mit senkrechter Achse versehen, untergebracht zu denken. Duncan scheint ihn durch eine Hanfpackung ersetzt zu haben.

Taf. VII. Fig. 6 zeigt wieder eine Methode, bei der vorliegenden Anordnung oder vielmehr derjenigen in Fig. 4, die Kurbel durch eine — mangelhaftere Einrichtung zu ersetzen. Sie ist von Davies 1837 neben der obigen Pumpe, Fig. 3, angegeben und besteht aus einem Cylinderpaar und vier Kugelgelenkpaaren, also einer Kette $(C G_4)$, welche das Glied *a* zu ersetzen bestimmt ist. Von Gossage ist 1838**) in Frankreich auf eine ähnliche Einrichtung, welche als Dampfmaschine dienen sollte, ein Patent genommen worden. Hätten Davies und Gossage bemerkt, wie viel leichter die in Fig. 4 angedeutete blosse Umkehrung der Kette zum Ziele führte, so hätten sie wohl nicht zu den verwickelten Ersatzmitteln der Kurbel gegriffen.

§. 91.

Kapselwerke aus dem rotirenden Kreuzgelenk.

Tafel VII. Fig. 7 bis 12.

Von den noch übrigen beiden Feststellungen der Kreuzgelenkkette hat die auf das Glied *c* keine Liebhaber unter den Erfindern rotirender Dampfmaschinen gefunden, wohl aber, und zwar ent-

---

*) Clark's Table of mechanical motions, Nr. 61 und 62.

**) Propagation industrielle, Bd. 3 (1868) S. 246.

sprechend reichlicher, die dritte der Feststellungen, diejenige, welche das Getriebe $(C_3^{\perp} C^{\angle})^s$ liefert. Es ist dies der Mechanismus der Kreuzgelenk-Kuppelung oder des Hooke'schen Schlüssels, der unerkannt zu den folgenden sechs Maschinen gestaltet worden ist.

Taf. VII.

Fig. 7, rotirende Dampfmaschine von Taylor und Davies*). Die Kapsel- und Kolbenbildung ist zunächst ganz wie in Fig. 1 ausgeführt, das Liderungsstück *c*, nehmen wir an, mit einbegriffen. Es ist aber die Kurbel *a* zum Stege gemacht, worauf nun sowohl der Kolben *b*, als die Kapsel *d*, den Schieber *c* mit herumführend, reine Drehbewegungen machen. Sie entsprechen thatsächlich den beiden Wellen der Kreuzgelenkkupplung, der Schieber *c* aber, welcher bekanntlich aus zwei rechtwinklig gekreuzten Drehkörpern besteht, dem Gelenkkreuze.

Taf. VII.

Fig. 8, rotirende Dampfmaschine von Larivière und Braithwaite**). Hier ist *a*, das feststehende Glied, als Kapsel ausgebildet und über die beiden rotirenden Glieder *b* und *d* sowie den Schieber *c* hingeführt. Von beweglichen Gliedern ist nur *d* äusserlich sichtbar gelassen. Die Scheidewand an *d*, entsprechend dem Drehkörper 4, ist diametral durchgeführt, was eine Doppeltwirkung des Dampfes ermöglicht, ohne dass die zweite, hier zur Linken gelegene Seite der Scheibe *b* benutzt wird.

Taf. VII.

Duclos***) formte, siehe Fig. 9, ebenfalls das Glied *a* als Kapsel, liess aber die Achse von *b* nach aussen treten und gestaltete das Glied *d* bloss als rotirenden Flügel. Man vergesse nicht, dass der Doppelkegel 1 an *a* den einen Drehkörper, das Ebenenpaar, welches den Flügel *d* begrenzt, den zweiten Drehkörper darstellt, aus welchem das Glied *d* besteht.

Taf. VII.

Sehr ähnlich mit Duclos' Maschine ist die, mir nur aus schriftlichen Mittheilungen bekannte Maschine von Küster, Fig. 10. Hier ist die Kapsel nur, statt ein Doppelkegel mit sphärischen Begrenzungen zu sein, ein Globoidring oder sogenannter cylindrischer Ring, der Kolben *d* ein ebener Sektor eines solchen. Ueber die Liderung, welche in dem Schlitze der Scheibe an *b* den Kolben *d* umschliesst, liegen mir keine näheren Einzelheiten vor; sie scheint sehr mangelhaft.

---

*) Newton, London Journal of Arts etc., Conjoined Series, Bd. 18 (1841) S. 97, Patent vom Jahre 1836; ferner dasselbe Werk Bd. XIX. S. 18 kleine Verbesserungen angebend.

**) Propag. industrielle, Bd. 3 (1868) S. 211.

***) Propag. industrielle, Bd. 4 (1869); Patent vom Jahre 1867.

Fig. 11, rotirende Dampfmaschine von Wood*). Sie ist sehr nahe verwandt mit der Maschine von Duclos, Fig. 9. Nur ist hier das Kreuzgelenk *c* nicht als Liderungskörper, sondern als Mitnehmer ausgeführt. Deutlich wird seine Zusammensetzung aus zwei einander kreuzenden Drehkörpern 3 und 4 erkannt; die Scheibe *b* hat einen nach Fig. 281 profilirten Schlitz zum Durchlassen des Kolbens *d*. Die Kapsel *a* hat als ersten Drehkörper den Doppelkegel 1 zur Achse *A A*, als zweiten die Lagerung 2 der Triebachse an *b*. Ich muss hier bemerken, dass ich von der Wood'schen Zeichnung etwas abgewichen bin. Diese zeigt statt des Kreuzarmes 4 die beiden konvergenten Kreuzarme 4′, welche in der Nebenfigur angedeutet sind. Der Mechanismus ist aber bei dieser Einrichtung nicht beweglich, indem der Kolben *c*′, so wie er ist, am Scheitel und im Grunde der Kapsel nicht durchschlüpfen kann. Denn da *c*′ vermöge der Achse 3, welche Wood ausdrücklich sehr fest baut, gezwungen ist, immer in der Ebene der Achse 2 zu bleiben, müsste die Breite des Kolbens periodisch bis auf die wahre Kapselweite ab- und wieder auf die gezeichnete Breite zunehmen, um überall zu schliessen. Aus dem Vorhandensein dieses Fehlers, zu welchem sich bei näherem Eingehen noch andere gesellen würden, geht hervor, dass die Maschine trotz ihrer breiten und sehr zuversichtlich ins Einzelne gehenden Darstellung bei Bataille niemals in Betrieb gewesen ist.

Fig. 12 zeigt als letztes Beispiel eines der jüngsten Erzeugnisse der schaffenden Erfindungslaune, welche durch das Problem der rotirenden Maschine stets noch wach erhalten ist. Es ist die rotirende Dampfmaschine von Geiss in Gebweiler**), wo dieselbe in dauernder Thätigkeit sein soll. Die Kapsel *a* ist halbkugelförmig. Das Glied *b*, dessen Fortsetzung als Schwungradachse dient, endigt in einem Kegel mit kugelförmigem Knopf. In diesem ist das normal zur Achse 2 gerichtete Gelenk für die Kolbenscheibe *c* angebracht, welche die Halbkugel quer durchsetzt. Was wir vor uns haben, ist das rotirende Kreuzgelenk, bei welchem die Achsen der Drehkörper 1 und 2 einen Winkel von 45° einschliessen. Deutlich ist das Drehkörperpaar 2 erkennbar, weniger leicht das Paar 1; von diesem ist indessen auch nur ein Drehkörper vor-

*) Ausführlich beschrieben bei Bataille u. Jullien, Mach. à vapeur (1847) Bd. I. S. 447.

**) Propag. industrielle, Bd. 5 (1870) S. 132.

handen, und zwar in der ebenen Abschlussscheibe, einem Plankegel zur Achse *A A*. Somit hat das Glied *a* denn die Form:

$$C^{-} \ldots \angle \ldots C^{-} \text{ oder strenger } K^{0} \ldots \angle \ldots C^{-}$$

Das Glied *b* besteht aus zwei zu einander rechtwinkligen Drehkörpern 2 und 3, letzterer in den kugelförmigen Knopf eingebettet. Das Glied *d* fehlt; die Kette ist also um dasselbe vermindert, und die allgemeine Formel demnach zu schreiben: $(C_{3}^{\perp} C^{\llcorner})^{s} - d$. Eben wegen dieses Mangels von *d* fehlt auch der zweite Drehkörper zu 1. Die Wegminderung des Gliedes ist durch eine höhere Paarung zwischen *c* und *a* ausgeglichen und zwar in Gestalt der Abstumpfung der vorderen Kante des Kolbens *c* gepaart mit einem Plankegel an das Glied *a*. Der hierbei erzielbare dichte Verschluss kann kaum anders als mangelhaft sein. Leicht wäre es gewesen, durch Beibehaltung von *d* als Liderungskörper den Schluss mittelst niederer Paarung zu bewirken; die beiden Nebenfiguren zeigen, wie man etwa *d* anordnen könnte. Uebrigens lässt meine Quelle an Genauigkeit zu wünschen übrig, so dass die Möglichkeit nicht ausgeschlossen ist, dass an der Maschine etwas Aehnliches wirklich vorhanden wäre.

In den letzten sechs Maschinen haben wir als Kolben einmal *b*, viermal *d* und einmal *c*, als Kapsel einmal *d* und fünfmal *a* anwenden sehen.

Die Form der Kapsel haben wir einigemal wechseln sehen, obwohl im allgemeinen die Doppelkegelform den Vorzug erhalten hat und wohl von vielen für wesentlich und unerlässlich angesehen worden ist. Diese Form hat ohne Zweifel den Erfindern und Verbesserern viel zu denken gegeben. Es wurde ihnen ungemein schwer, sich von der ungewöhnlichen halb rollenden, halb gleitenden Bewegung der Scheibe eine befriedigende Vorstellung zu machen. Davies glaubte eine wirklich rollende Bewegung wie bei den Zahnrädern vor sich zu haben. Wir können dies daraus entnehmen, dass er 1838 sich eine als Pumpe dienende Scheibenmaschine patentiren liess, in welcher sowohl die Platte als die Kegelmäntel wie konische Räder verzahnt waren *). Er rechnete somit die Maschine in die Klasse der im folgenden Kapitel zu besprechenden Kapselräder. Die Scheidewand gestaltete sich dabei gleichsam als ein Radzahn, welcher einem der beiden Kegel angehörte, der

*) Newton, London Journal of Arts 7. Conjoined Series, Bd. 19 (1842) Seite 153.

Schlitz in der Platte als eine Zahnlücke in dem Doppelrade b. Bald hat Davies aber wohl bemerkt, dass dabei an einen guten Schluss zwischen Schlitz und Scheidewand nicht zu denken war, was aus der besonderen sphärisch cykloidischen Form, die die Radzähne erhalten müssten, folgt; er hat denn die ganze Idee auch augenscheinlich rasch wieder fallen lassen. Interessant ist es immerhin, sich zu fragen, wie der Kolben und die Kapselwände profilirt sein müssten, damit sie nur gegenseitig rollen. Diese Frage ist keine andere, als die nach den Axoiden zwischen den Gliedern b und d der Kette $(C_{3}^{\perp}C^{\llcorner})$...

Die fraglichen Axoide sind aus den sehr bekannten Formeln für die Relativbewegungen in der Kreuzgelenkkupplung unschwer zu bestimmen. In letzterer ist das Glied a festgestellt; die Glieder b und d drehen sich mit solchem Winkelgeschwindigkeitsverhältniss, dass, wenn die zusammengehörigen Drehwinkel mit ω und ω_1 bezeichnet werden,

$$\frac{tg\,\omega_1}{tg\,\omega} = cos\,\alpha$$

ist, wenn noch α den Winkel zwischen den Achsen von b und d, d. i. den Winkel des Gliedes a bezeichnet*). Hieraus berechnet sich das Verhältniss der Winkelgeschwindigkeiten w und w_1 der beiden Achsen wie folgt:

$$\frac{w_1}{w} = \frac{cos\,\alpha}{1 - sin^2\omega\ sin^2\alpha}.$$

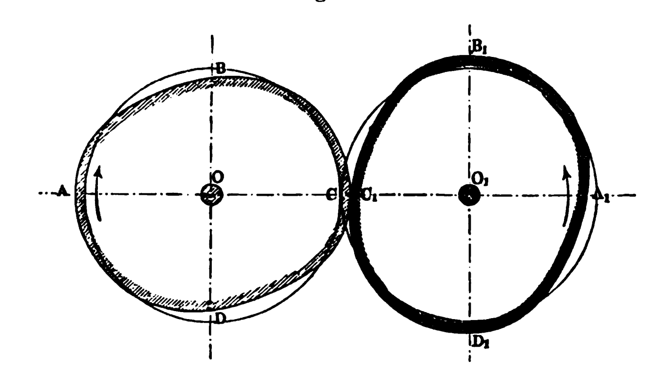
Diese Formel drückt zugleich das Verhältniss der Abstände der einander berührenden Axoidpunkte von ihren bezüglichen Drehachsen aus. Verfahren wir zunächst so, als ob nicht zwei konvergirende, sondern zwei parallele Wellen Axoide trügen, welche Fahrstrahlen von dem genannten Verhältniss besässen, oder mit anderen Worten, reduziren wir zuvörderst die Axoide auf parallele Achsen (vergl. §. 9), so erhalten wir als Polbahnen oder Normalschnitte der Axoide Kurven von der in Fig. 282 dargestellten Gestalt. In der gezeichneten Lage ist das Verhältniss $w_1 : w$ in einem Maximum, bei der Berührung von B und B_1 wird es sich in einem Minimum befinden, nach einer weiteren Drehung um 90° tritt wieder ein Maximum, nach dem dritten Rechtwinkel wieder ein Minimum ein.

---

* Siehe meinen Konstrukteur, III. Aufl. S. 261.

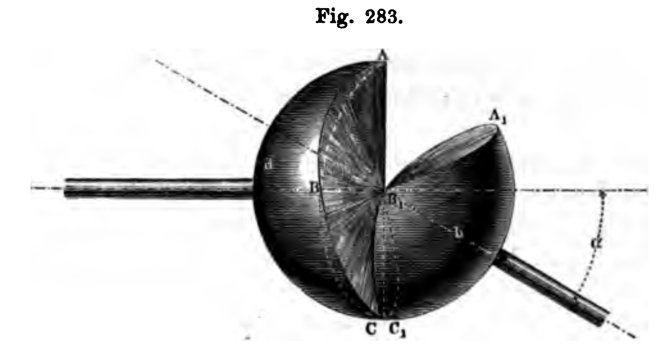
Die Polbahnen lassen sich ohne grosse Schwierigkeiten auf die zu suchenden Axoide übertragen [47]). Dies ist in Fig. 283 ge-

Fig. 282.



schehen. Die beiden Axoide ABC und $A_1 B_1 C_1$ sind der Form nach kongruent, stehen aber in der gezeichneten Lage um 90°

Fig. 283.



verschieden gegen die Bildebene. Es soll durchaus nicht empfohlen werden, bei der Scheibenmaschine etwa die Kolben- und Kapselprofile nach diesen Axoiden zu gestalten; vielmehr soll nur eine Vorstellung von der jeweiligen Gleitung zwischen *b* und *d* gegeben werden. Die Stärke dieser Gleitung ist aus der Figur zu ermessen, wenn man bedenkt, dass man bei der gewöhnlichen Scheibenmaschine *b* als Planscheibe, *d* als Kegel vom Spitzenwinkel $90 - \alpha$ profilirt hat. — Ebenso interessant wie das vorliegende ist das den Gliedern *a* und *c* zugehörige Axoidenpaar; seine Profile stehen dem Cardanischen Kreispaar der Kreuzschleifenkette $(C''_2 P^{\perp}_2)$ als analog gegenüber.

§. 92.

Ueberblick über die gewonnenen Resultate.

Die Fülle der Formen, in welchen, wie wir gesehen haben, ein einziger Grundgedanke bei den Kurbel-Kapselwerken in die Erscheinung tritt, zeigte sich so gross, dass unsere Untersuchung nothgedrungen weitläufig geworden ist. Ja, ich kann mich sogar für die Vollständigkeit der gemachten Aufzählung nicht einmal verbürgen. Ich könnte mit Uhlands Karlsritter sagen:

> Wer suchen will im wilden Tann,
> Manch' Waffenstück noch finden kann,
> Ist mir zuviel gewesen.

Obendrein zeigt eine Vergleichung der wirklich vorhandenen und geschilderten Maschinen, dass nicht einmal sämmtliche noch leicht ausführbaren Umkehrungen der vorhandenen Formen stattgefunden haben und noch lange nicht alle Analogien ausgeführt worden sind: wir haben somit die Aussicht, die rastlose Empirie noch eine Reihe neuer Kurbel-Kapselwerke ans Tageslicht fördern zu sehen.

Was dem gegenüber unsere Analyse uns geleistet hat, ist nicht unerheblich. Sie hat uns vor allem zu dem leitenden Gesetze geführt, welchem die sämmtlichen Erfinder und Verbesserer der betrachteten Maschinen unbewusst, ahnungslos gefolgt sind. Warum sie gerade in so grosser Mehrzahl, ohne es zu bemerken, das Kurbelgetriebe als Grundlage gewählt haben, bleibt einer spätern Untersuchung aufbehalten. Einstweilen haben wir es erreicht, den grossen Wirrwarr, welcher in dem aufgehäuften Stoffe entstanden war, in Ordnung und Gesetzlichkeit aufzulösen. Diese letztere wurde dabei nicht willkürlich oder äusserlich gewählt, sondern aus dem eigentlichen Wesen der Maschinen entwickelt; deshalb gilt sie auch von den noch kommenden Formen derselben Maschinengattung, die sogar sich auch wissenschaftlich jetzt schon bestimmen lassen [48]). Zugleich ermöglicht uns die gefundene Gesetzlichkeit, uns ein klares Urtheil über den Werth der einzelnen Maschinen zu bilden. Einige wenige unter der grossen Menge erwiesen sich als praktisch werthvoll; viele dagegen sind für die ihnen gegebene Bestimmung nicht geeignet oder stehen doch anderen Lösungen

hinsichtlich ihres praktischen Werthes bedeutend nach. Die vollständige Wahnhaftigkeit der angeblichen Vortheile mancher Maschinen hat sich klar herausgestellt. Aber selbst die praktisch werthlosen Maschinen haben der wissenschaftlichen Kinematik, und damit dem grossen Ganzen, einen Dienst erwiesen. Denn erst die grosse Zahl der Fälle war es, welche einestheils nachdrücklich zur Aufsuchung des allgemeinen Gesetzes aufforderte, anderntheils die unerlässlichen Beispiele lieferte.

Ich glaube dass wir hoffen dürfen, nach Erkenntniss der Gesetzmässigkeit und nach Verbreitung dieser Erkenntniss die Planlosigkeit des Suchens nach neuen Lösungen sich vermindern und allmählich verschwinden zu sehen, und dass die wissenschaftliche Beurtheilung der rotirenden Dampfmaschinen und Pumpen aus den vorstehenden Untersuchungen eine Verschärfung gewinnen könne. Ausserdem haben wir in den beiden letzten Kapiteln bereits lehrreiche Einblicke in das Verfahren gethan, auf synthetischem Wege unmittelbar zu neuen Maschinen zu gelangen. Bei der Ausführung der Analyse ergaben sich unwillkürlich einzelne Anwendungen der Synthese. Es wurde also theilweise schon jene in der Einleitung besprochene Möglichkeit, dass das Erfinden im bisherigen Sinne durch ein wissenschaftliches Entwicklungsverfahren ersetzt werden könne, thatsächlich nachgewiesen. Wir werden weiter unten, Kap. XIII, hierauf zurückkommen.

ZEHNTES KAPITEL.

ANALYSIRUNG DER KAPSELRÄDER-WERKE.

§. 93.

Verkettung der Zahnräderwerke mit Druckkraftorganen.

Die zwangläufige Bewegung eines Druckkraftorgans vermöge Einschliessung desselben in ein Kapselwerk ist nicht auf den Kreis der Kurbelgetriebe, wo wir das Prinzip in voller Entwicklung fanden, beschränkt, sondern ist auch auf andere Getriebe anwendbar und hat daselbst zahlreiche Verwendungen gefunden. In der That können auch sehr verschieden geartete Mechanismen sich dazu eignen, dass man eines der als feste Körper ausgeführten Kettenglieder durch ein Druckkraftorgan ersetzt. Das oben (§. 78) besprochene Prinzip der passenden Bildung einer Kapsel tritt dabei ganz wie früher in Kraft und kann unter Umständen zu recht günstigen Resultaten und für die Praxis recht geeigneten Maschinen führen. Eine interessante Reihe von Erfindungen, welche auf diesem Wege zwar nicht entstanden sind, aber so entstanden gedacht werden können, haben wir in denjenigen Maschinen vor uns, welche man aus der Kette $(R_2 C_2)$ bilden kann. Die früher unbekannt gebliebene Verwandtschaft einer grösseren Anzahl derselben untereinander habe ich seiner Zeit nachgewiesen und die

Maschinen dieses Kreises Kapselräder oder Kapselräderwerke genannt *).

Ein Kapselräderwerk entsteht aus der in geeigneter Weise zum Getriebe gemachten Kette $(R_{\text{z}} C_2)$ dadurch, dass man mit demselben ein Druckkraftorgan verkettet, indem man eines der Glieder zur Kapsel ausbildet, das Druckkraftorgan in die Zahnlücken eintreten und mit denselben fortschreiten lässt, und darauf dasselbe vermöge des Zahneingriffes wieder daraus verdrängt. Als Kolben oder Verdränger tritt demnach eines der beiden Zahnräder oder treten beide Zahnräder auf, während der Steg $C \ldots\ldots C$ sich zur Bildung der Kapsel darbietet. Diese allgemeine Aufgabe lässt nothwendigerweise eine Menge von Lösungen zu. Das entstehende Getriebe kann alsdann, wie wir bereits bei den Kurbelgetrieben fanden, eben sowohl zur Beförderung des Druckkraftorgans (Pumpe) wie auch als Kraftmaschine, welche durch dasselbe betrieben wird, dienen, oder auch zu noch anderen Zwecken gebraucht werden. Der allgemeine Karakter des Getriebes wird bei den verschiedenen Benutzungen immer derselbe sein, die besondere Einrichtung indessen von dem jedesmaligen Zwecke abhängen. Einige der wichtigsten Kapselräderwerke wollen wir nun hier in Kürze besprechen.

§. 94.

Das Pappenheim'sche Kapselrad.

Taf. VIII. Fig. 1 und 2.

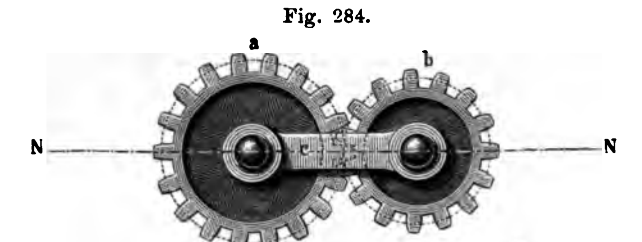
Am nächsten bietet sich zum Kapselräderwerke dar das Stirnrädergetriebe $(C_{\text{z}}' C_2'')^c$, Fig. 284 (a. f. S.), der geometrisch einfachste Fall von $(R_{\text{z}} C_2)$, und zwar in der Form, dass man die Räder *a* und *b* gleich gross macht und den Steg *c* zu einer die Räder bis auf einen Ein- und einen Auslasskanal rings umfassenden Kapsel gestaltet. Als Urbild des Kapselräderwerkes oder älteste Form desselben finden wir daher die in Fig. 1 und 2, Taf. VIII, schema-

---

*) Siehe Berliner Verhandlungen, 1868, S. 42. Die Abhandlung über die Kapselräder legte ich damals vor, ohne mich der kinematischen Zeichensprache bedienen zu können. Der Leser wird beim Vergleich bemerken, dass die damalige Mittheilung sich ihrem Inhalt und Sinne nach eng an die vorliegenden Erörterungen anschliesst, obwohl ich hier beträchtlich weiter gehen darf, als es dort möglich war.

tisch dargestellte Konstruktion. Zwei kongruente Stirnräder a und b, deren Verzahnung ohne Spielraum ausgeführt ist, sind in eine

Fig. 284.



Kapsel eingeschlossen, welche die Räder an den Zahnscheiteln mit zwei halbcylindrischen Kröpfen umfasst, mit zwei auf verschiedenen Seiten der Eingriffstelle liegenden Kanälen c' und c'' versehen ist, und die Räder an den Endflächen dicht schliessend berührt. Die Achsen der Räder gehen mit dichtem Verschluss nach aussen, und sind dort mit zwei gleichen Stirnrädern a_1 und b_1 kinematisch verbunden. Wird nun eine der beiden Achsen, z. B. die von a in Umdrehung versetzt, so dreht sich die von b mit gleicher Winkelgeschwindigkeit in entgegengesetztem Sinne mit. Findet die Drehung in dem in Fig. 1 durch Pfeile angedeuteten Sinne statt, und denkt man sich den Kanal c' mit einem Wasserbehälter in Verbindung, so werden durch die beiden Räder a und b die Wasserinhalte der Zahnlücken von c' nach c'' hin fortbewegt. Wegen des dichten Verschlusses an der Eingriffstelle bei mn kann daselbst kein Wasser rückwärts treten; also muss solches bei c'' hinausgetrieben werden. Die Maschine kann daher als Pumpe dienen, und bietet als solche die Bequemlichkeit dar, sowohl keine Ventile zu haben, als nur rotirende bewegliche Theile zu besitzen.

Taf. VIII.

Die Zahnformen von a und b können ohne Schwierigkeit so gewählt werden, dass immer in der Gegend von mn wenigstens in einem Profilpunkte Berührung stattfindet, und dass dieser Punkt ohne abzusetzen das ganze Radprofil durchläuft. Unter dieser Voraussetzung, welche durch das in Fig. 1 angegebene Zahnprofil erfüllt wird, gelangt kein Wasser von c'' zwischen a und b hindurch nach c' zurück. Die Wasserförderung von c' nach c'' hin findet dann aber proportional der Drehung der beiden Räder statt. Wird diese gleichförmig ausgeführt, so tritt bei c'' ein stetiger Wasserstrahl aus, weshalb das Pumpwerk recht gut als Spritze gebraucht werden kann.

Das Wasservolumen, welches bei einer Umdrehung gefördert wird, ist gleich dem Inhalt der Zahnlücken beider Räder, oder, da die Zahnlücken hier sehr nahe denselben Körperinhalt haben wie die Zähne, annähernd gleich dem Inhalt des Cylinderringes, welcher zwischen dem Zahnscheitelcylinder und dem Zahnfusscylinder oder Radboden eines Rades liegt. Dieser Inhalt heisse kurz der Zahnringinhalt.

Will man also die Wasserförderung gross machen, so kann dies bei Erhaltung aller Durchmesser durch Verbreiterung der Pumpräder *a* und *b* in der Achsenrichtung geschehen. Eine sorgfältige Herstellung vermag die durch Unrichtigkeiten herbeigeführten Wasserverluste auf ein unschädliches Maass zurückzuführen, namentlich wenn die Druckhöhe nicht gross und die Winkelgeschwindigkeit der Räder nicht zu klein ist. Hiernach liefert also die vorliegende Einrichtung eine in manchen Fällen recht brauchbare Wasserpumpe.

Als solche ist die Maschine schon beträchtlich alt. Weisbach nennt sie*) die Bramah'sche Rotationspumpe, welche von Leclerc verbessert sei (durch Einsetzung von Dichtungskeilen an den Zahnscheiteln); andere nennen sie die Leclerc'sche Pumpe. Hiernach würde ihre Erfindung auf das Ende des vorigen Jahrhunderts zurückzuführen sein. Aber schon 1724 wird die Pumpe von Leupold**) als alt beschrieben und „Machina Pappenheimiana" betitelt, und zwar unter folgender Ueberschrift: „Eine Capsel-Kunst mit zwei gehenden Rädern, von D. Bechern Machina Pappenheimiana genannt." Nun ist das Becher'sche Werk***) in der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts erschienen; ausserdem aber beschreiben Kircher, Schott†), Leurechin, und nach diesem Schwenter in seinen „mathematischen Erquickstunden" vom Jahre 1636, S. 485, dieselbe Maschine mit der Abänderung, dass die beiden Pumpräder vier statt sechs Zähne haben, ohne Anführung des Namens Pappenheim. Hiernach ist die Maschine heute

*) Weisbach, Mechanik, III. S. 843.

**) Theatrum mach. hydraul. Tom. I., S. 123.

***) Trifolium Becherianum, welches auf der Königl. Bibliothek in Berlin leider nicht zu finden.

†) Kaspar Schott, Mechanica hydraulica pneumatica, Mainz 1657. Die in einem kleinen Kupferstich wiedergegebenen Räder haben hier 19 Zähne; der gelehrte Pater hat den „Wasserspeier" als Pumpe in „römischen Gärten", wörtlich „in hortis romanis" (?) in Anwendung gesehen.

schon über 230 Jahre alt; sie war zur Zeit des 30jährigen Krieges schon bekannt, und scheint nach allem eine deutsche Erfindung. Ob ihre Erfinder Pappenheim geheissen, oder ob sie nur nach irgend einem Pappenheimer benamset worden, bleibt noch festzustellen; ohne Frage kann man sie die Pappenheim'sche Pumpe auch ferner nennen. In Frankreich nennt man als Erfinder den Grollier de Servières mit dem Datum 1719*). Doch ist diese Jahreszahl nur die des Erscheinens der Beschreibung, welche der jüngere Grollier de Servières von dem mechanischen Kabinet seines Grossvaters gibt, ohne diesen als den Erfinder zu bezeichnen**). Das genannte Kabinet scheint in den 30er Jahren des 17. Jahrhunderts begründet worden zu sein.

Ich will noch bemerken, dass die beiden aussenliegenden Zahnräder a_1 und b_1 sowohl in dem schönen Kupfer bei Leupold als in dem winzigen Holzschnitt bei Schwenter fehlen, bei Bramah und Leclerc übrigens auch. Dieselben können zur Noth wegbleiben, da die Pumpräder einander allenfalls auch gegenseitig mitnehmen können; indessen entstehen dabei doch in der in Fig. 1 gezeichneten Stellung Klemmungen, welche die Zähne bald beschädigen. Deshalb ist durchweg zu empfehlen, die Triebräder a_1 und b_1 anzubringen; ihr Vorhandensein ist auch bei den übrigen auf der Tafel dargestellten Kapselrädern angenommen. Wie die Zahnprofile der Pumpräder a und b zu formen sind, lehrt die Theorie der allgemeinen Verzahnung***). Hier sei nur soviel bemerkt, dass in Fig. 1 die Zahnkopfprofile (wie in Leupolds Zeichnung) als Halbkreise angenommen, und die Zahnfussprofile dazu gesucht sind; auch sie unterscheiden sich nur sehr wenig von Kreisbogen.

Ausser als Wasserpumpe oder Pumpe für tropfbare Flüssigkeiten kann man die Pappenheim'sche Maschine auch für das Fortbewegen gasförmiger Körper gebrauchen, z. B. als Luftpumpe oder Windrad, als Gaspumpe u. s. f. Auch kann man ihre Thätigkeit umkehren, sie durch die Flüssigkeit treiben lassen, anstatt letztere durch sie fortzubewegen. Die Maschine dient dann als Kraftmaschine, und zwar als Wasserkraftmaschine (Kapselradturbine †),

---

*) Siehe Propag. industrielle (1868) III. S. 20.

**) Siehe Ewbank, hydraulic and other machines, 16. Auflage (1870) S. 285.

***) Siehe z. B. meinen Konstrukteur, S. 410 der 3. Auflage.

†) Eine Anwendung machten u. a. Renaud, Blanchet und Biret, Patent vom 30. Mai 1817, siehe Brevets d'invention, T. XXIV, Paris 1833.

wenn sie durch Wasser bewegt wird, als Dampfmaschine (rotirende), wenn Dampf die Treibflüssigkeit ist. Die letztere Anwendung hat Murdock, ein Zeitgenosse Watt's, versucht, indem er die Zahnköpfe mehr den Kapselwänden anschliessend formte, und Dichtungstheile an den Zahnscheiteln einsetzte. Die Wirkung kann nur gering sein, weil der Verschluss an der Eingriffstelle *mn* für eine gasförmige Flüssigkeit von hoher Spannung nicht genügt; die Murdock'sche Kapselrad-Dampfmaschine ist deshalb nicht in die Praxis eingedrungen.

Eine dritte Anwendung liegt zwischen der Pumpe und der Kraftmaschine. Das Kapselräderwerk kann nämlich wie jede Pumpe auch als Messwerkzeug gebraucht werden; es gibt bei guter Ausführung einen Wassermesser ab, indem die Zahl der Umdrehungen, welche die Pumpräder, getrieben von einem durchfliessenden Wasserstrom, machen, dessen Inhalt gemessen durch den Zahnringinhalt als Einheit angibt. Wir werden weiter unten eine derartige Anwendung des Kapselräderwerkes finden.

Eine vierte Anwendung erhält man bei Anbringung eines verengbaren Ausflusskanales. Schliesst man diesen mehr oder weniger, so dient das mit Wasser oder Oel gehende Kapselräderwerk als Bremse, die man durch Zufügung eines Ventils zu einer einseitig wirkenden, durch Zufügung zweier Ventile zu einer zweiseitig wirkenden vorrichten kann. Die Flüssigkeit beschreibt dabei, wenn man die Kanäle passend anordnet, einen Kreislauf; sich abnützende Theile, wie an den Backenbremsen, kommen bei einer solchen Bremse nicht vor. Die in einem Drehungssinne widerstehende, im anderen nicht hindernde Kapselradbremse kann sodann als sogenannter Katarakt dienen, und an solchen Stellen nützlich sein, wo die Kataraktwirkung auf Drehbewegungen angewandt werden soll.

Man sieht, dass das Kapselräderwerk eine sehr grosse Verwendbarkeit besitzt. Da es in seiner einfachen Gestalt keiner Ventile bedarf, kann es, wie gezeigt wurde, ohne irgend eine Aenderung als Pumpe, welche sich auch als Spritze eignet, als Kraftmaschine und als Flüssigkeitsmesser dienen; eine geringe Zuthat macht es als Katarakt und als Bremse brauchbar; es eignet sich gut für den Betrieb von und durch Wasser oder tropfbare Flüssigkeiten überhaupt, halbflüssige und bloss plastische Massen mit eingerechnet (weshalb es vielleicht als Thonpresse und Knetmaschine dienen könnte), sowie zur Förderung von niedrig

gespannten luftförmigen Flüssigkeiten, als atmosphärische Luft, Leuchtgas u. s. w., in der That eine Reihe von nützlichen Anwendungen, wie sie selten bei einer und derselben Maschine vorkommen.

§. 95.

Das Fabry'sche Wetterrad.

Tafel VIII. Fig. 3 und 4.

Diese bekannte Maschine ist ein als Windpumpe dienendes Kapselräderwerk. Der belgische Ingenieur, dessen Namen es trägt, hat es als Sauggebläse zur Grubenlüftung eingerichtet und mit grossem Erfolg eingeführt; noch heute ist er thätig, seinen „Ventilator" fortwährend zu verbessern. Fig. 3 zeigt das Profil des älteren Fabry'schen Rades*). Die Pumpräder a und b sind hier dreizähnig, ihre Zahnprofile bei mn und $m_1 n_1$ nach Epicykloiden der Theilkreise oder Aequidistanten derselben geformt; bei op berühren sich die Profile zu beiden Seiten der Zentrale so lange, bis die Profile bei m und n oder m_1 und n_1 zusammentreffen. Ein Durchströmen von Luft zwischen den Rädern ist deshalb nicht möglich, ohne dass indessen wie bei Pappenheim der Berührungspunkt stetig das Radprofil durchläuft. Das Ausschneiden der Zahnprofile bringt es aber mit sich, dass bei jedem Zahnwechsel ein kleines Quantum Luft von c'' nach c' zurückgeschafft wird. Denkt man sich die Zähne zuerst für stetige Berührung eingerichtet, und dann ausgeschnitten, so ist der Inhalt der Ausschnitte gerade derjenige der zurückgeschafften Luftmenge. Es bleibt demnach auch hier der Satz bestehen, dass die geförderte Luftmenge für jede Umdrehung sehr annähernd gleich dem Inhalt eines Zahnringcylinders ist. Das Ausschneiden des Zahnprofils ändert also nichts an der Fördermenge; es hebt aber die volle Gleichförmigkeit der Förderung auf, indem das Wiederzurückführen nicht stetig geschieht. Ein Nachtheil möchte hieraus selten erwachsen; nur bei starker Wasserdurchfuhr ist die Ungleichförmigkeit wohl nachtheilig, da sie eine stossende Bewegung der Räder bewirkt; die Luftförderung indessen wird dadurch, namentlich wenn die Geschwindigkeit des Luftstromes klein, und dessen Spannung nicht hoch ist, nicht störend beeinflusst.

Taf. VIII.

*) Siehe Laboulaye, Cinématique, 2. Aufl. S. 793.

Um den dichten Verschluss an den Zahnscheiteln genügend lange bestehen zu lassen, brauchen die Kropfwände sich nicht auf einen vollen Halbkreis zu erstrecken; es genügt, wenn sie ungefähr dem Winkel einer Zahntheilung entsprechen. Sie dürften also bei der Einrichtung in Fig. 3 bei *s* und *t* schon aufhören; oder auch man dürfte bei halbkreisförmigen Kröpfen die Pumpräder zweizähnig machen. Solches ist bei dem in Fig. 4 dargestellten späteren Fabry'schen Rade geschehen. Die epicykloidischen Profile sind an kleinen, von Fabry auch bei den dreizähnigen Rädern schon frühe angewandten Schaufeln bei *op*, *qr* u. s. w. angebracht; bei *mn* berührt die Mittelwand des Rades *b* den Radboden von *a*. Zwischen dem Radboden und dem Kropf liegt der Zahnringcylinder, dessen Inhalt wieder mit grosser Annäherung demjenigen des bei jeder Umdrehung geförderten Luftquantums gleich zu setzen ist. Die Fabry'schen Wetterräder sind mit 3 bis 4 Meter Durchmesser und 2 bis 3 Meter Breite ausgeführt, und bewegen sich ziemlich langsam, mit 30 bis 60 Umdrehungen in der Minute *). Der Radkörper wird meist aus Holz gezimmert, dabei die Abschliessung der Zahnlücken von einander durch aufgenagelte Blechtafeln bewirkt, so dass schliesslich das ganze Bauwerk einem Zahnrade so wenig wie möglich ähnlich sieht. Daher ist es denn sehr begreiflich, dass der theoretische Zusammenhang des Fabry'schen mit dem Pappenheim'schen Mechanismus in praktischen Kreisen übersehen werden konnte.

Taf. VIII.

§. 96.

Der Roots'sche Ventilator.

Tafel VIII. Fig. 5 und 6.

Der in Fig. 5 im Profil dargestellte Ventilator des Amerikaners Roots war auf der Pariser Weltausstellung 1867 zur Schau gestellt **). Die Pumpräder hatten etwa 0·9 Meter Durchmesser und über 2 Meter Breite; sie wurden mit grosser Schnelligkeit betrieben und lieferten eine bedeutende Menge Luft von beträchtlicher

*) Vergl. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, Bd. I. S. 140; ferner Ponson, traité de l'expl. des mines de houille; Polyt. Centralblatt 1858, S. 506; auch Civil-Ingenieur.

**) Eine Beschreibung siehe im Engineer, 1867, August, S. 146.

Pressung. Das Profil *pnr* ist kreisförmig; das entgegenstehende *qmo* berührt das erstere beim Eingriff stetig. Man sieht, dass das Ganze ein Pappenheim'sches Kapselräderwerk mit zwei Zähnen ist. Roots führte die Mantelflächen der Zähne anfangs aus Holz, später aus Eisen aus. Der Roots'sche Ventilator hat inzwischen eine grosse Verbreitung gefunden und wird an vielen Stellen gebaut; die Wiener Weltausstellung 1873 zeigte mehrere Exemplare. Es muss indessen hier hervorgehoben werden, dass Roots nicht der erste Erfinder des vorliegenden Kapselräderwerkes ist, dass dasselbe nämlich schon 1859 *) als Gaspumpe, von Jones gebaut, angeführt wird, aber auch damals schon nicht als neu angesehen wurde [49]).

Taf. VIII. Fig. 6 zeigt das Profil eines zweiten Roots'schen Ventilators. Hier sind die Zahnformen geändert. Aehnlich wie bei dem erwähnten Murdock'schen Kapselräderwerk haben hier die Zähne am Scheitel cylindrische, an die Kapsel anschliessende Profile *nr*, *so*, *uw*. Diese erstrecken sich auf einen Viertelkreis, d. i. auf eine halbe Theilung. Dasselbe gilt von den Radboden-Profiltheilen *mq*, *pt*, *vx*, welche die Scheitelprofile bei Durchgang durch die Zentrale berühren; dabei gleitet *mq* auf *nr*, *uw* auf *vx* u. s. w. Die Flankenprofile *pn*, *mo* u. s. f. sind hier verlängerte Epicykloiden oder Aufradlinien der aufeinander rollenden Theilkreise. Das Profil *mo* wird von dem Eckpunkte *n* des Rades *b* gegen das Rad *a* beschrieben, also in der Ausführung berührt, wenn die Räder in den Pfeilrichtungen gehen. Roots führt nicht diese genauen Profile aus, sondern solche, welche hinter dieselben in die Räder hineinfallen, und mit Recht. Er gibt zwar dabei den zweiten Schlusspunkt auf, vermeidet aber auch dadurch die Verdünnungen und Verdichtungen, welche bei der zweifachen Berührung in den Räumen, die sich zwischen den Berührungspunkten bilden, entstehen würden. Die genannten Profile sind auch hier nur der einfachen Darstellung wegen gezeichnet; sie müssen beim Entwerfen auf alle Fälle gesucht werden, um die Grenze, hinter welcher das auszuführende Profil bleiben muss, zu bestimmen. Von den beiden Roots'schen Vorrichtungen ist die erstere die vorzüglichere, weil sie einen gleichförmigen Flüssigkeitsstrom liefert, was die zweite aus den bei Fig. 3 erwähnten Gründen nicht thut. Beide Roots'sche Ventilatoren haben eine Fördermenge, deren Inhalt dem eines Zahnringcylinders für jede Umdrehung sehr nahe gleich ist.

---

*) S. Clegg, manufacture of coalgas, S. 190.

§. 97.

Der Payton'sche Wassermesser.

Tafel VIII. Fig. 7.

Fig. 7 ist das Schema eines in der englischen Abtheilung der letzten Pariser Weltausstellung 1867 zur Schau gestellten Wassermessers*). Derselbe ist ein zweizähniges Kapselräderwerk, dessen Zähne nach Kreisevolventen profilirt sind. Die Berührungsnormale und Eingrifflinie NN hat in unserer Figur eine Neigung von 15° gegen die Zentrale, und zwar ist dieser Winkel deshalb klein zu wählen, damit die Eingriffdauer genügend gross heraus gebracht werden kann. Die einander in op berührenden Evolventenbogen gehen von m bis q und von r bis n; innerhalb der durch m und r gehenden Kreise sind die Zahnprofile mit einer beliebigen Kurve, welche aber den Eingriff nicht stört, an den Radboden angeschlossen. Auf den Rückseiten sind die Zähne nach einer der Evolvente nahe parallelen Kurve profilirt, welche der Haupt-Evolvente recht nahe liegen muss, um den Eingriff nicht zu stören, d. h. um nicht von der Spitze des Gegenzahnes getroffen zu werden. Dadurch erhalten die Zähne die etwas ungewöhnliche schaufelförmige Gestalt.

Bei jeder Umdrehung wird von jedem Rade die hinter die Zahnrückenflächen fallende Flüssigkeitsmenge wieder von oben nach unten zurückbefördert, es findet also auch hier, ähnlich wie bei den Fällen in Fig. 3, 4 und 6, keine gleichförmige Fortbewegung statt, was auch schon daraus hervorgeht, dass der Eingriffpunkt das Radumfangsprofil nicht stetig durchläuft. Die auf jede Umdrehung entfallende Fördermenge ist wieder sehr nahe dem Zahnringcylinder inhaltgleich.

Ob der wasserdichte Verschluss selbst bei recht genauer Ausführung ausreicht, um den Apparat als Wassermesser tauglich zu machen, ist erst durch die Erfahrung zu bestätigen. In England scheint die Einführung des ohne Zweifel sehr einfachen Instrumentes mit Eifer versucht zu werden.

---

*) Eine Beschreibung des, von den Engländern „*epicycloidal*" *water meter* genannten Instrumentes siehe Engineer, 1868, Februar, S. 92.

§. 98.

Das Evrard'sche Kapselräderwerk.

Tafel VIII. Fig. 8.

Die belgische Abtheilung der 1867er Pariser Ausstellung enthielt einen in sehr bescheidener Form ausgeführten, aber beachtenswerthen Ventilator von Evrard, der ebenfalls hierher gehört, und dessen Schema Fig. 8 zeigt.

Taf. VIII.

Die Wiener Weltausstellung führte, ebenfalls in der belgischen Abtheilung, eine aus demselben Mechanismus gebildete Wasserpumpe vor. Es handelt sich um ein zweizähniges Kapselräderwerk, bei welchem die beiden Pumpräder zwar wie bisher gleich schnell umlaufen, aber nicht kongruent gestaltet sind. Das Rad *a* hat zwei ganz innerhalb seines Theilkreises *r* fallende Zahnlücken, das Rad *b* zwei ausserhalb seines Theilkreises *r* liegende Zähne. Die Zähne an *a* haben Aehnlichkeit in der Form mit denen bei Roots, Fig. 6, sie liegen aber innerhalb des Theilkreises, die Lücken an *b* dagegen ganz ausserhalb des Theilkreises. Die Kurve *mlo* ist die von der Zahnspitze *n* gegen das Rad *a* beschriebene verlängerte Epicykloide oder Aufradlinie der beiden Kreise vom Halbmesser *r*. Die Kurve *pn* ist die gemeine Epicykloide oder Aufradlinie (hier insbesondere eine Kardioide), welche der Punkt *o* des Rades *a* gegen das Rad *b* beschreibt. Der Punkt *o* verlässt hier das Rad *b* in demselben Augenblicke, wo *n* in *m* anlangt. Soll dies stattfinden, so muss der Winkel *mao* so gross sein, wie der dem Zahnfuss an *b* entsprechende Winkel, oder doppelt so gross, als der in Fig. 8 mit α bezeichnete.

Taf. VIII.

Beide Lückenräume schaffen beim Drehen in den Pfeilrichtungen Luft oder überhaupt Flüssigkeit von unten nach oben. Der Lückeninhalt von *a* wird aber bis auf den Abschnitt von dem linsenförmigen Querschnitt *mnpo* wieder nach unten zurück geschafft. Hiernach wird bei jeder Umdrehung ein Volumen, welches etwas weniges kleiner als der Zahnring-Cylinder des Rades *b* ist, von unten nach oben befördert. Der Eingriff besitzt eine günstige Eigenschaft in dem Umstande, dass die Zahnscheitel von *a* auf den Radbodenabschnitten von *b* ohne Gleitung rollen. Der in Paris ausgestellte Ventilator hatte, so viel sich an der etwas

schwer zugänglichen Maschine ersehen liess, statt der epicykloidisch profilirten Zähne an *b* nur gerade Schaufeln an der Stelle der Zahnachse *t* unserer Figur, was für die praktische Ausführung genügt und dieselbe noch bedeutend erleichtert. Wegen des Zurückführens eines Theiles des fortbewegten Lückeninhaltes ist die Förderung nicht gleichförmig, was aber namentlich bei Luftförderung keinen wesentlichen Nachtheil hat. Somit ist im Ganzen das Evrard'sche Gebläse als ein Kapselräderwerk von recht zweckmässiger Konstruktion zu bezeichnen. Um die Förderung bei ihm gleichförmig zu machen — wobei seine Brauchbarkeit als Wasserpumpe und als Wasserkraftmaschine erheblich zunehmen würde — hätte man nur die Zähne an *b* nach einem Kreisbogen zu profiliren, und der Lücke an *a* die entsprechende Umhüllungskurve zum Profil zu geben.

Die besondere Form, welche Evrard den Kapselrädern in seinem Gebläse gegeben hat, ist übrigens schon früher benutzt worden, und zwar an dem in §. 101 zu beschreibenden älteren Kapselräderwerk. Die auf der Wiener Weltausstellung vorgeführte Wasserpumpe nach vorliegendem Prinzip war vom Baron Greindl als dessen Erfindung ausgestellt*).

§. 99.

Die Repsold'sche Pumpe.

Tafel VIII. Fig. 9.

Wir haben gesehen, dass die Pappenheim'sche Erfindung in Bezug auf die Zähnezahl und die Zahnform vielerlei Wandlungen durchlaufen hat. Die Zähnezahl der Pumpräder ist unter allerlei Abänderungen in den Zahnprofilen von 6 und mehr auf 4, 3 und 2 gesprungen. Es erübrigt nur noch, diese an sich wohl nützliche Verminderung bis an die äusserste Grenze zu treiben. Solches ist der in den vierziger Jahren von dem bekannten Hamburger Hause Repsold ausgegangenen rotirenden Pumpe geschehen. Diese viel genannte, seiner Zeit Aufsehen erregende Pumpe ist ein

---

*) In England werden von Laidlow & Thomson rotirende Pumpen gebaut, welchen das Kapselräderwerk ganz in der von Evrard benutzten Form zu Grunde liegt. Siehe Engineer, 1868, May 29, S. 394.

Kapselräderwerk, dessen Pumpräder je einen Zahn haben. Taf. VIII. Fig. 9 zeigt dasselbe in schematischer Darstellung. Die Zahnprofile sind hier ausserhalb der Theilkreise nach Aufradlinien oder Epicykloiden *mq*, *nt*, innerhalb nach Hypocykloiden oder Inradlinien *ms*, *nr* gestaltet, erzeugt wie bei gewöhnlichen Satzrädern durch Wälzen der gleich grossen Radkreise *W* und W_1 auf und in den Theilkreisen. Am Zahnfuss ist ein Profil-Stückchen *su* angesetzt, welches die relative Bahn der Zahnspitze *t* des Rades *b* (das so genannte theoretische Lückenprofil desselben) ist; das Hypocykloidenstück *ms* entspricht der Wälzung des Radkreises W_1 auf dem Bogen *mv*. Die Zahnscheitel *tp* und *qG* sind cylindrisch, ebenso die entsprechenden Radbodenstücke an beiden Rädern, ganz wie es bei gewöhnlichen Stirnrädern gemacht wird. Bei der hier gewählten Zahnform ist die Förderung ein klein wenig ungleichförmig, da der Eingriffpunkt nicht ganz vollständig stetig den Radumfang durchläuft. Die Ungleichförmigkeit ist indessen vernachlässigbar klein; will man sie völlig beseitigen, so braucht man nur das Zahnkopfprofil bei *mq*, *nt* u. s. w. nach einer stetig in den äusseren Cylinder übergehenden Kurve, z. B. einem passend gelegten Kreisbogen, zu formen und das umhüllende Zahnfussprofil entsprechend zu gestalten.

Die Pumpräder der Repsold'schen Maschine werden gewöhnlich als „eigenthümlich geformte Exzenter" oder dergleichen beschrieben; aus dem Obigen geht aber klar hervor, und ein Blick auf die Zeichnung macht es augenscheinlich, dass sie nichts anderes sind, als einzähnige Stirnräder. Radboden und Zahnscheitel gleiten auf einander, so dass an denselben eine anfängliche Abnutzung unvermeidlich ist, ähnlich wie es bei dem zweiten Roots'- Taf. VIII. schen Gebläse, Fig. 6, der Fall ist. Der dichte Verschluss ist deshalb an dieser Stelle schwer zu erhalten, niedrige Pressung der zu fördernden Flüssigkeit also empfehlenswerth. Die Kropfbogen *EG* und *FH* müssen, um den Verkehr zwischen Zu- und Ableitungskanal hinter den Rädern her zu verhüten, grösser als ein Halbkreis sein. Repsold hat innerhalb derselben abdichtende Lederstreifen angebracht*). Der Inhalt der bei einer Umdrehung geförderten Flüssigkeitsmenge ist fast ganz genau gleich dem eines Zahnringcylinders.

Die Repsold'sche Pumpe ist als Wasserpumpe für Baugruben,

---

*) Berliner Verhandlungen 1844, S. 208.

überhaupt als Ausschöpfpumpe, ferner als Spritze angewandt worden; auch als Kraftmaschine mit Wasserbetrieb (Kapselradturbine) ist sie in England zur Anwendung gekommen*), und dient mehrfach als Leuchtgaspumpe in Gasfabriken. Bei ihr sind also drei von den oben aufgezählten mannigfachen Anwendungen des Kapselräderwerkes mit dauerndem praktischen Erfolge verwirklicht.

Was das Erstlingsrecht der Erfindung angeht, wenn man von einer solchen hier sprechen will, obwohl es sich nur um eine besondere Form des Pappenheim'schen Kapselwerkes handelt, so kommt dasselbe Repsold nicht zu, indem in Frankreich Lecocq bereits 1832 ein Patent auf eine rotirende Pumpe von der beschriebenen Form genommen hat**); er nannte sie: Pumpe mit zwei sich aufeinander abwälzenden Kolben.

§. 100.

Das Dart'sche oder Behrens'sche Kapselräderwerk.

Tafel VIII. Fig. 10.

Die amerikanische Abtheilung der letzten Pariser Weltausstellung enthielt in zwei Anwendungen das in Fig. 10 dargestellte von Behrens erfundene, von Dart & Comp. ausgestellte Kapselräderwerk***). Die beiden Pumpräder a und b sind auch hier einzähnig, wie im vorigen Beispiel. Sie sind an seitlich liegenden runden Scheiben, welche hier weggeschnitten sind, befestigt. Dadurch ist es ermöglicht, sie inwendig auszudrehen, so dass der Radboden wegfällt. An seine Stelle sind die Cylinder c_1 und c_2 gesetzt und unbeweglich im Gehäuse befestigt. Sie haben cylindriche Ausschnitte qr und ns, welche von den Zahnscheiteln bei deren Vorbeigang berührt werden, und zwar so, dass ein dichter Verschluss entsteht, welcher denjenigen der Zahnflanken unnöthig macht. In unserer Figur berühren sich auch diese noch, indem mp als verlängerte Epicykloide oder Aufradlinie, beschrieben vom Punkte o, geformt ist. Bei der praktischen Ausführung bleibt man mit der Spitze o etwas von der Kurve weg (indem man bei o eine Abrun-

*) Pract. Mech. Journal, 1855 bis 1856, Bd. XVIII, S. 28.

**) Propagation industrielle, Bd. III. (1868), S. 182.

***) Propag. industrielle, Bd. II. (1867), S. 116.

dung anbringt), um das Einklemmen von Flüssigkeit in dem Dreieckraume opq zu verhüten. Sobald der Punkt p bei q anlangt, ist auch o dort angekommen, und geht nun von q nach r hin. Dabei schliesst der Zahnscheitel von b immer noch an qr, die Zahnsohle t an dem Cylinder c_2. Kurz darauf kommt m nach n hin, und es beginnt nun der Verschluss durch den Zahnscheitel von a an ns. Zugleich beginnt dann auch das Zurückführen der abgeschnittenen Flüssigkeitsmenge nach IK hin. Inzwischen ist von IK her die Flüssigkeit zwischen den Kropfrändern IK hindurch links um c_1 herum nach oben zu gegangen, während gleichzeitig durch das Rad b rechts um c_2 herum die geschöpfte Flüssigkeit zwischen den Kropfrändern EF hindurch aus der Kapsel heraus geleitet wurde.

Wie man sieht, ist hier ein neuer Gedanke in das Kapselräderwerk eingeführt, derjenige des Verschlusses des Mittelkanales durch niedere Paare, hier Cylinderpaare, während die vorhergehenden Abänderungen der Pappenheim'schen Pumpe denselben Verschluss durch höhere Paare bewirkten. Den Uebergang zu der vorliegenden Abschlussweise kann man in dem niederen Paarschluss der Zahnscheitel bei Repsold, Evrard und Roots, Fig, 9, 8 und 6, erblicken. Des dichten Verschlusses halber könnten die Zahnprofilirungen mp und ot u. s. w. wegbleiben; es ist aber doch gut, dieselben anzuwenden, um die zurückgeführte Flüssigkeitsmenge und damit die Ungleichförmigkeit der Förderung klein zu halten. Die Grösse der Förderung selbst entspricht auch hier wieder sehr nahe dem eines Zahnringcylinders für jede Umdrehung.

Taf. VIII.

Die Sicherheit des Verschlusses ist wegen der durchgeführten niederen Paarung eine grössere, als bei den vorher besprochenen Kapselräderwerken, weshalb die Behrens'sche Maschine sich als Pumpe gut eignet. Der Fabrikant Dart (in dessen Hause in New-York der Erfinder Behrens Theilhaber ist) hat sie vielfach als solche, sowie auch als Wasserkraftmaschine (Kapselradturbine) ausgeführt, ja sie auch als Dampfmaschine angewandt. Von einer solchen, welche eine Behrens'sche Pumpe trieb, war ein Muster von der angeblichen Stärke von 12 Pferden auf der Pariser Weltausstellung in Thätigkeit*). Es muss indessen bezweifelt werden, dass ein dauernder Erfolg mit dieser Anwendung erreicht werden könne,

*) Siehe Motoren und Maschinen auf der Weltausstellung 1867. Wien, 1868, S. 124.

da es unverhältnissmässig schwer ist, den dichten Verschluss gegen hohen Dampfdruck auf die Dauer in dieser Maschine zu erhalten. Wenigstens wird die Vollkommenheit der Cylindermaschinen von dieser Kapselradmaschine nicht von fern erreicht werden können.

Die Wiener Weltausstellung brachte indessen eine Dampfspritze, an welcher Dampfmaschine, Spritzpumpe und Speisepumpe nach Dart ausgeführt waren.

§. 101.

Das Eve'sche Kapselräderwerk.

Tafel VIII. Fig. 11.

Die Grundform des von Evrard angegebenen Kapselräderwerkes, Fig. 8, ist in dem weit älteren des Amerikaners Eve bereits benutzt gewesen. Diesem Kapselwerke, welches 1825 in England patentirt wurde*), sind zwei ungleich grosse Stirnräder, nämlich solche vom Verhältniss 1 : 3, zu Grunde gelegt. Die Körper *a* und *b*, deren Achsen ausserhalb der Kapsel *c* durch zwei gewöhnliche Stirnräder vom Verhältniss 3 : 1 verbunden sind, rollen bei *mn* mit ihren cylindrischen Axoiden aufeinander; während dessen befördern die Zähne des Rades *a* die Flüssigkeit in der angegebenen Pfeilrichtung. Beim Ueberschreiten der Zentrale passiren sie die Zahnlücke an *b* unter höherem Paarschluss, ganz wie es bei Fig. 8 besprochen wurde.

Taf. VIII.

In Frankreich nahm Ganahl 1826 ein Patent auf ein dem Eve'schen sehr ähnliches Kapselwerk, als Kraftmaschine und als Pumpe bezeichnet**), bei welchem das Rad *b* aber konisch, wie ein Hahn, eingepasst ist. Man erkennt daran den Gedankengang, den der Erfinder genommen hat: ihm war das Rad *a* ein Kolbenrad, *b* die Steuerungsvorrichtung. In aller Strenge würde das Ganahl'sche Kapselräderwerk als aus dem Kegelräderpaar gebildet zu bezeichnen sein; vergl. §. 103.

---

*) Siehe Ewbank, hydr. and other machines, 1870, S. 287, auch ausführlich bei Bataille u. Jullien, machines à vapeur, Bd. I. (1847 bis 1849), S. 440, wo noch mehrere Abänderungen mitgetheilt sind.

**) Siehe Propag. industrielle, Bd. III. (1868), S. 55.

§. 102.

Das Révillion'sche Kapselräderwerk.

Tafel VIII. Fig. 12.

Die Allgemeinheit des in §. 93 ausgesprochenen Grundsatzes, wonach zum Kapselräderwerk sich jedes Rädergetriebe (R, C_2) unter Umständen eignet, schliesst ein, dass auch die Schraubenräder zu Kapselwerken verwendbar sind. Dies ist schon vor längerer Zeit bemerkt und inzwischen wiederholt versucht worden. 1830 erwarb Révillion ein französisches Patent auf ein Schraubenräderkapselwerk*). Fig. 12 stellt ein solches Kapselwerk dar. Demselben ist hier (von Révillion etwas abweichend) diejenige Form gegeben, welche ich zu einem Modell für das kinematische Kabinet benutzt habe. Die Räder *a* und *b* sind Normal-Schrauben von gleicher, aber entgegengesetzt gerichteter Steigung; ihre Achsen sind durch die gleichgrossen Stirnräder a_1 und b_1 verbunden; der Steg *c* ist als Kapsel ausgebildet. Die Schraubengänge, welche aussen die Kapsel mit niederem Paarschluss berühren, gleiten bei *kl*, *mn*, *po* u. s. w. mit höherem Paarschluss aufeinander. Bei *qr* und *st* habe ich ihnen (was bei den bisherigen Versuchen nicht geschehen war) dasjenige Querschnittprofil gegeben, welches die äusseren Schraubenkanten in stetiger Berührung mit den beiden Wandflächen des Schraubenganges erhält. Die Profilbogen des Gangquerschnittes sind Umhüllungsformen der Schraubenlinie. Vermöge der Herstellung der Räder auf der Schraubenschneidbank ist die Ausführung dieser genauen Profilformen keineswegs besonders schwierig. Die Schraubengänge befördern, wie bei Pappenheim, die Flüssigkeitskörper, welche die Zahnlücken ausfüllen. Eine solche Lücke ist z. B. der zwischen *mn* und *kl* einerseits und der Kapsel *c* andererseits befindliche Raum, der durch die Berührungen bei *qr* und *st*, sowie an den ähnlich liegenden Stellen neben *mn* von dem übrigen Hohlraume geschieden wird. Eine wesentliche praktische Bedeutung ist dem Schraubenräder-Kapselwerk wohl nicht beizumessen. Ich lasse deshalb auch die wiederholt von Einzelnen gemachten Versuche, dasselbe als rotirende Dampfmaschine oder als Pumpe auszuführen, auf sich beruhen.

Taf. VIII.

*) Siehe Propag. industrielle, Bd. III. (1868), S. 151.

§. 103.

Andere einfache Kapselräderwerke.

Die verschiedenen Formen, in welche das einfache Kapselräderwerk gebracht werden kann, sind mit den vorstehenden Beispielen nicht erschöpft, wennschon die wichtigsten der bekannten herausgehoben sind. Wir sahen, dass neben den gleich grossen Stirnrädern die ungleich grossen, neben den cylindrischen Stirnrädern solche mit schraubenförmiger Verzahnung aufkommen, daneben (§. 101) eine Andeutung vom konischen Räderpaar hervortreten. In letzterer Richtung ist noch weiter gegangen worden. Der Mechanikus Lüdecke in Dransfeld bei Göttingen hat u. a. ein — praktisch werthloses — Kapselwerk konstruirt, welches als Pumpräder zwei gleiche konische Räder von sehr stumpfem Achsenwinkel hat; die Kapsel ist innen eine Kugelzone, und wird durch zwei Scheidewände in der Achsenebene in Saug- und Druckraum getheilt. Die Schwierigkeiten der Herstellung übersteigen bei weitem diejenigen, welche bei Zugrundelegung von Stirnrädern auftreten. Doch verdient es immerhin angeführt zu werden, dass auch diese Konsequenz schon gezogen ist. Also Stirnräder, Schraubenräder, Kegelräder sind an der Reihe gewesen. Noch fehlt die letzte Variation, die der Hyperbelräder, bei welchen die Schwierigkeiten der Dichtung ihr Maximum erreichen würden. Wiegen wir uns indessen nicht in Sicherheit, dass nicht dennoch eines Tages eine „hyperbolische rotirende Dampfmaschine" am Horizont auftauchen werde.

§. 104.

Die zusammengesetzten Kapselräderwerke.

Wir haben oben, §. 61, die zusammengesetzten Räderwerke in einem Beispiele vorübergehend besprochen, und zwar in dem Mechanismus $(C_{12}^{+} C_3'')^{\cdot}$, welchen Fig. 285 (a. f. S.) darstellt. Auch dieser Mechanismus ist als Kapselräderwerk ausgebildet worden, u. a. von Justice, welcher dasselbe als Dampfmaschine verwer-

thete*). Justice, der auch ein zweirädriges Kapselwerk baute, macht die Räder a, b, c und d gleich gross, wobei b und c in ein ein-

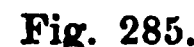
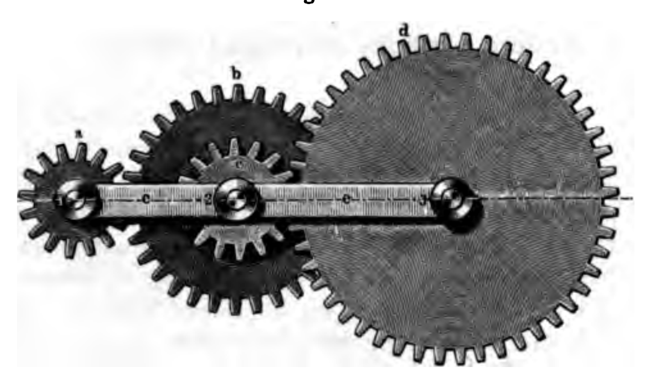


Fig. 285.



ziges Rad übergehen, welches mit den beiden anderen Rädern im Eingriff steht; der Steg e ist als Kapsel, welche alle drei Räder umschliesst, ausgeführt. Die Konstruktion ist von geübter Hand und gut ausgeführt, die behauptete Vortheilhaftigkeit freilich nicht erweisbar**). Ein zusammengesetztes Räderwerk aus vier konischen Rädern ist ebenfalls, und zwar schon 1838, durch H. Davies hergestellt worden***). Es dient als Pumpe, sowie als rotirende Dampfmaschine. Eines der Endräder, z. B. a, hat einen mächtigen, bis zum gegenüberliegenden Rade, d, reichenden Zahn, das Doppelrad, $b\,c$, hat einen Spalt, welcher mit seinen Rändern an dem Zahne schliessend gehen soll, was sehr unvollkommen gelingt. Ich wies bereis in §. 91 auf diese Maschine, welche erklärlicherweise der Vergessenheit anheimgefallen ist, hin.

Macht man in dem zusammengesetzten Räderwerk $(C_{,2}C_3'')$ die Zentralen 1.2 und 2.3 gleich gross, so kann man die Drehzapfen 1 und 3 konaxial machen und erhält dann die in Fig. 286 dargestellte Kette; b und c bilden nach wie vor ein einziges (ternäres) Kettenglied, während a und d gegeneinander beweglich bleiben.

---

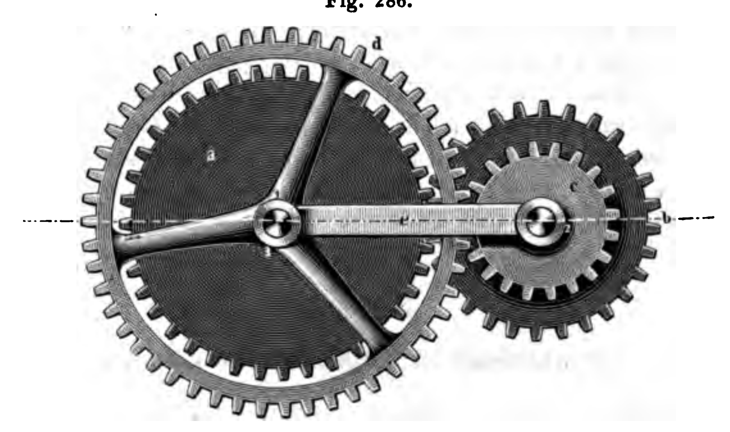
*) Siehe pract. mech. Journal Bd. XIX. (1866 bis 1867), S. 360, auch Propag. industrielle, Bd. IV. (1869), S. 34.

**) Ein älteres Kapselräderwerk aus drei Rädern siehe bei Bataille und Jullien, machines à vapeur, Bd. I. (1847 bis 1849), S. 442.

***) Newton, London Journal of arts and sciences, Conjoined Series, Bd. XIX. (1842), S. 153.

Wir wollen ein Räderwerk der vorliegenden Art, bei welchem das Zentrum des letzten Rades (*d*) gleichsam wieder an den Ausgangs-

Fig. 286.



punkt 1 zurückgekehrt ist, ein **rückkehrendes Räderwerk** nennen. Dasselbe spielt in der Maschinenpraxis eine nicht unwesentliche Rolle. Unter anderem ist es auch zum Kapselwerk gemacht worden, allerdings mit der Abweichung von der vorstehenden Form, dass man **unrunde** statt der cylindrischen Zahnräder benutzte, also die Kette auf die Form $(\tilde{C}_{z2}^{+} C_3'')$, das Getriebe auf die Form $(\tilde{C}_{z2}^{+} C_3'')^e$ brachte.

Macht man nämlich nunmehr das durchschnittliche Uebersetzungsverhältniss von *a* auf $d = 1$, so müssen zwei Radien der Räder *a* und *d* wegen der unrunden Axoide der Räder gegeneinander eine oscillatorische Bewegung machen, während beide gleichzeitig im selben Sinne fortschreiten. Zwei mit den Rädern festverbundene Sektoren, in eine aus dem Steg *e* gebildete Kapsel eingeschlossen, können nun als Kolben gebraucht werden, d. h. als solche auf ein passend zugeleitetes Druckkraftorgan einwirken oder von diesem getrieben werden. Die Bewegung der beiden Kolben gegeneinander geht dann ähnlich vor sich, wie die in der Maschine Fig. 16 Tafel V. Als Beispiele unter mehreren nenne ich: die rotirende Dampfmaschine von **Smyth**, 1829 patentirt, welche unrunde Räder von verwickelter Gestalt hat*), den Hoch-

*) Newton, London Journal of arts and sciences, second Series, Bd. IX. (1834), S. 152.

druckventilator von Ramey mit vier kongruenten elliptischen Rädern *), die Dampfmaschine von Thomson mit vier kongruenten ovalen Rädern, auf der Pariser Weltausstellung 1867 in zwei Exemplaren ausgestellt **). Die Schwierigkeiten der Ausführung sind, namentlich wenn es sich um eine Dampfmaschine handelt, zu gross, um diesen Maschinen eine praktische Bedeutung zukommen zu lassen. Indessen sind doch hier wenigstens die Kolbendichtungen gut herstellbar, da Kolben und Kapsel als Cylinderpaar ausgeführt werden. Der Ramey'sche Ventilator soll gute Resultate gegeben haben.

§. 105.

Umlaufräder in Kapselräderwerken.

Es bleibt mir nun noch übrig, eine letzte Art von Kapselräderwerk dem Leser vorzuführen, welche bisher den Erklärern so zu sagen völlig dunkel geblieben ist, ja ich glaube annehmen zu müssen, auch dem Erfinder selbst — es ist Galloway ***) — nicht klar gewesen ist; wenigstens ist in seiner eigenen Beschreibung der innere Zusammenhang seiner Maschine mit bekannten Mechanismen nicht nachgewiesen. Ich bin indessen genöthigt, um diesen Nachweis führen zu können, etwas weiter auszuholen.

Aus der einfachen Stirnräderkette $(C_z C_2'')$, welche wir in §. 94 an die Spitze unserer Analysirung stellten, können ausser dem gewöhnlichen Rädergetriebe $(C_z C_2'')^c$ noch zwei andere gemacht werden, indem statt des Steges c eines von den beiden Zahnrädern a und b fest aufgestellt wird. Man erhält die Getriebe $(C_z C_2'')^a$ und $(C_z C_2'')^b$. Beide fallen gleichartig aus, weshalb wir nur das eine, und zwar das erstere, betrachten wollen. Fig. 287 stellt dasselbe so dar, wie es sich bei Einspannung des Rades a in unseren Schraubstock ergibt. Der Verbindungssteg c kreist jetzt als kurbelartiger Arm um die Achse 1 herum, während das Rad b sich auf a abwälzt. Um den Zusammenhang zwischen dem Drehwinkel ω' des

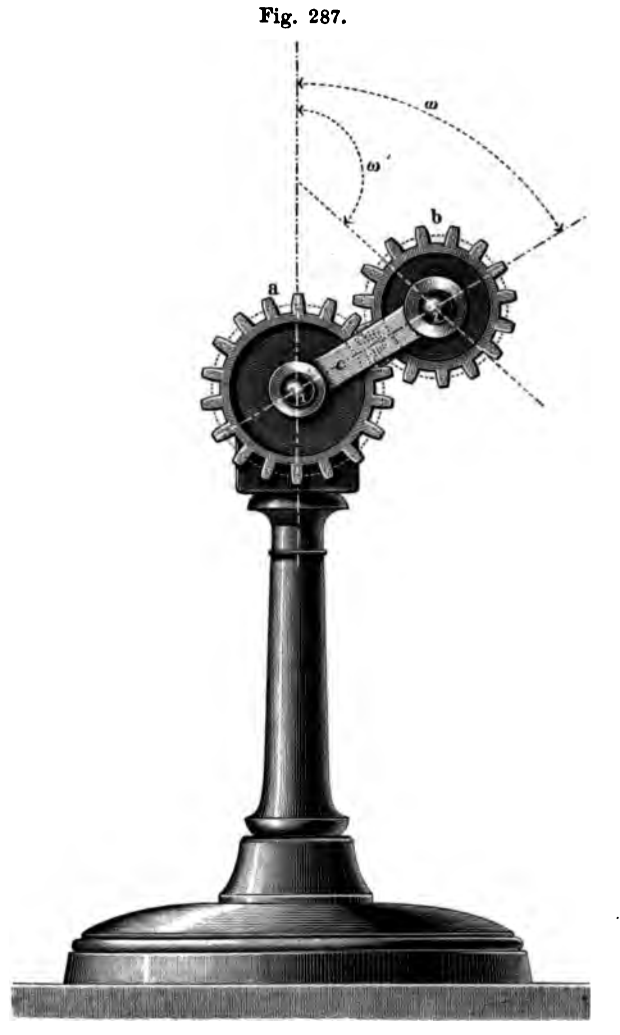
*) Génie industriel, Bd. XXX. (1865), S. 254. (Modell im kinematischen Kabinet der königl. Gewerbe-Akademie in Berlin.)

**) Rapports du Jury international, Bd. IX., S. 81, auch Propag. industrielle, Bd. IV. (1869), S. 339.

***) Siehe Bataille und Jullien, machines à vapeur, Bd. I. (1847 bis 1849), S. 431.

Rades b und demjenigen ω des Armes c zu ermitteln, denken wir uns vorerst das Rad a ebenfalls um 1 drehbar, bewegen es mit dem Lenker c um den Winkel ω, und drehen darauf, c an seinem

Fig. 287.



Ort belassend, a wieder in seine Befestigungslage zurück. Dann entfernt sich der anfänglich senkrechte Halbmesser des Rades b zuerst ebenfalls um ω aus der Anfangslage, und wird alsdann wegen des Zähnezahlverhältnisses $\frac{a}{b}$ um $\frac{a}{b} \times \omega$ noch weiter vor-

wärts gedreht, so dass schliesslich der Drehwinkel, den b zurückgelegt hat, ist:

$$\omega' = \omega + \frac{a}{b}\omega = \omega\left(1 + \frac{a}{b}\right).$$

Ist ω in einer gegebenen Zeit, z. B. der Minute, $= n.2\pi$ und $\omega' = n'.2\pi$, so erhalten wir daraus das Verhältniss der gleichzeitigen Umdrehungszahlen:

$$\frac{n'}{n} = 1 + \frac{a}{b}.$$

Wäre eines der Räder ein Hohlrad, so würde sich bei der Rückführung des Rades a in die Anfangslage statt einer Vermehrung eine Verminderung des zurückgelegten Drehwinkels ω' ergeben, also geworden sein:

$$\frac{n'}{n} = 1 - \frac{a}{b}.$$

Das vorliegende einfache Getriebe wollen wir ein Umlaufgetriebe nennen. Es findet vereinzelte Anwendungen in der Maschinenpraxis. Letzteres ist aber in besonders reichhaltiger Weise der Fall mit einem anderen, nämlich einem aus dem rückkehrenden Räderwerke herstellbaren Umlaufgetriebe.

Stellen wir nämlich das in §. 104 herangezogene rückkehrende Räderwerk $(C_{z2}C_3'')$ auf a, wie es Fig. 288 andeutet, so erhalten wir zunächst für das ternäre Glied bc dasselbe Umlaufzahlenverhältniss, wie vorhin. Wichtig ist aber nun, die Umlaufzahl des neben a auf der Achse 1 befindlichen Rades d kennen zu lernen. Es ergibt sich aber alsbald, dass bei der Zurückführung des anfänglich um ω aus seiner richtigen Lage gedrehten Rades a sich d, welches ebenfalls zuerst um ω vorschritt, nunmehr um $\frac{a}{b}\frac{c}{d}$ mal ω rückwärts dreht, so dass schliesslich der Drehwinkel ω_1 des Rades d wird:

$$\omega_1 = \omega\left(1 - \frac{a}{b}\frac{c}{d}\right),$$

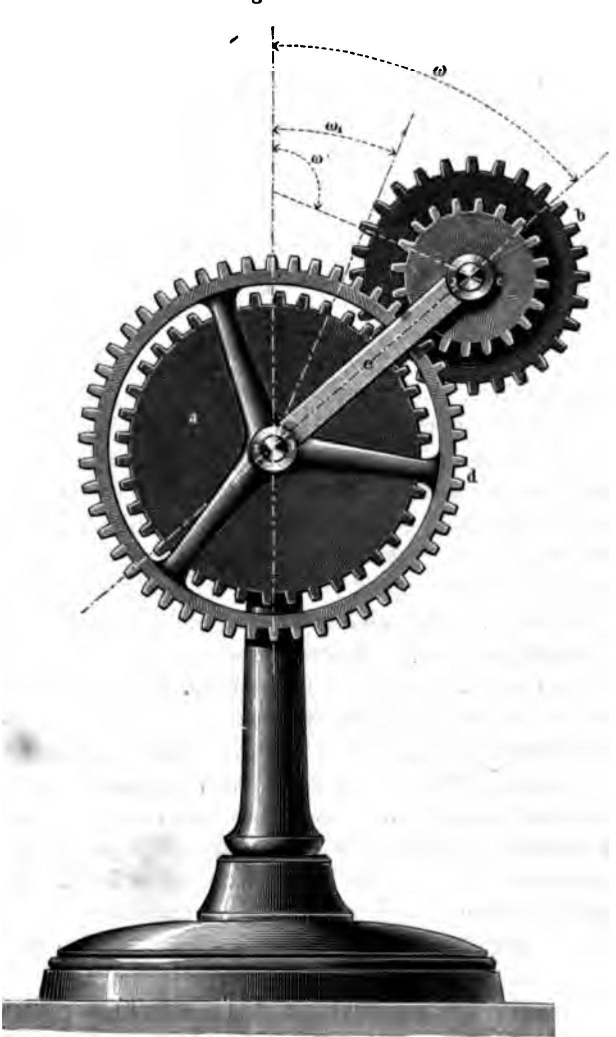
oder das Verhältniss der gleichzeitigen Umlaufzahlen des Rades d und des Lenkers e:

$$\frac{n_1}{n} = 1 - \frac{a}{b}\frac{c}{d}.$$

Das Getriebe $(C_{z2}C_3'')^e$, welches wir hier vor uns, und auf dem normalen theoretischen Wege der Kettenumkehrung erhalten haben, ist dasjenige, welches in der Maschinenpraxis gewöhnlich Diffe-

renzialräderwerk genannt wird. Dieser Name ist wahrscheinlich des Umstandes wegen gewählt worden, dass in der vorstehen-

Fig. 288.



den Formel ein Minuszeichen vorkommt. Wir wollen indessen bei diesem Namen, der zu Missdeutungen Anlass geben kann, nicht bleiben, sondern den Mechanismus ein zusammengesetztes Um-

laufgetriebe oder Umlaufräderwerk nennen. Das Beiwort „zusammengesetzt“ kann für gewöhnlich sogar auch wegbleiben.

Enthält eines von den beiden Räderpaaren a, b und c, d ein Hohlrad, so lautet die Formel für das Verhältniss der Drehungen:

$$\frac{n_1}{n} = 1 + \frac{a}{b}\frac{c}{d}.$$

Enthalten beide Paare je ein Hohlrad, so heisst sie wieder:

$$\frac{n_1}{n} = 1 - \frac{a}{b}\frac{c}{d}.$$

Nennen wir also das Umsetzungsverhältniss $\frac{a}{b}\frac{c}{d}$ im allgemeinen ζ, so lautet die Formel allgemein:

$$\frac{n_1}{n} = 1 - \zeta,$$

wobei zu merken, dass ζ selbst positiv ist, das Minuszeichen also bestehen bleibt, wenn kein Hohlrad, oder wenn zwei derselben im Getriebe vorkommen, dass aber ζ negativ wird, das Zeichen sich also umkehrt, wenn ein Hohlrad im Getriebe steckt.

Das vorliegende Getriebe ist reich an Formen und namentlich Anwendungen. Bemerkenswerth ist, dass, wenn das Minuszeichen gültig bleibt, und $\zeta > 1$, die Drehung von d derjenigen von e entgegenläuft. Der leichteren Besprechung halber wollen wir die beiden Räder a und d Zentralräder, und zwar a das erste, d das zweite Zentralrad, dagegen b und c Umlaufräder, und zwar b das erste, c das zweite Umlaufrad nennen.

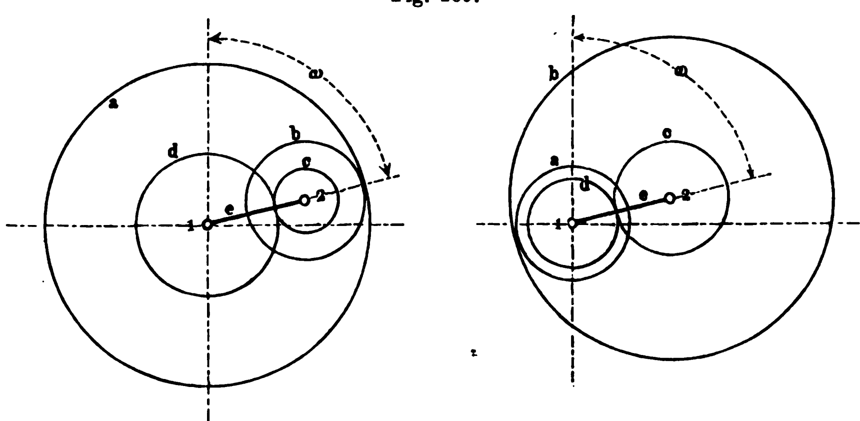
Sehr merkwürdig sind gewisse Grenzfälle, welche erhalten werden, wenn einzelne der vier Räder unendlich gross werden. Von diesen Grenzfällen muss ich einen besonders hervorheben. Es ist folgender. Nehmen wir zunächst an, es sei eines der Räder im Paare a, b, sei es a oder b, ein Hohlrad, wie die folgenden Zusammenstellungen der vier Theilkreise andeuten, so wird ζ, wie wir wissen, negativ; die Formel für $n_1 : n$ lautet also dann:

$$\frac{n_1}{n} = 1 + \frac{a}{b}\frac{c}{d}.$$

Es werde aber nun das Hohlrad unendlich gross, so muss mit ihm, damit der Eingriff erhalten bleibe, auch das eingreifende Vollrad unendlich gross werden. Die Mittelpunkte der beiden ins Unendliche gewachsenen Räder liegen aber nach wie vor im Endlichen, nämlich bei 1 und 2. Der Eingriffpunkt selbst indessen

und beide Zahnkränze entziehen sich unserer Beobachtung; sie verschwinden aus dem Getriebe, und es bleiben nur die beiden endlichen Räder *c* und *d* übrig. Das Umlaufräder-

Fig. 289.

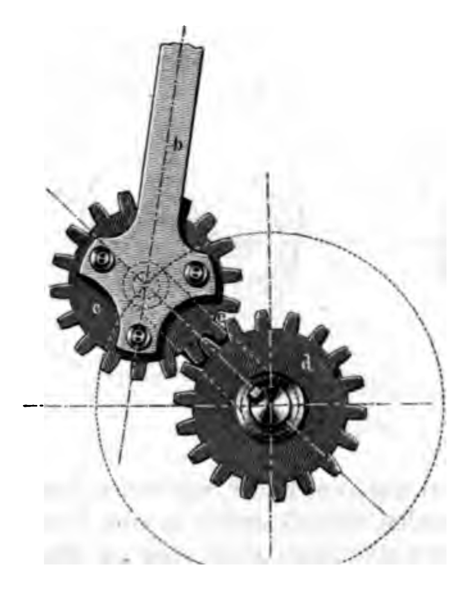


werk vermindert also sich auf nur zwei Räder, von denen das eine um 1 kreist, das andere dasselbe umläuft, indem es vom Lenker *e* um 1 herumgeführt wird. Wir sind damit nicht etwa auf den Fall von Fig. 287 zurückgekommen; denn dort war das Zentralrad *a* fest aufgestellt; hier hingegen ist das gebliebene Zentralrad *d* um seine Achse drehbar. Damit aber nun die Kette geschlossen bleibe, muss der Mechanismus eine Vertretung der verschwundenen Räder *a* und *b* erhalten. Diese hat, da der Eingriffpunkt oder Pol im Unendlichen liegt, in einer Einrichtung zu bestehen, vermöge deren das Rad *c* keine Achsendrehung im Raume vollziehen kann, d. h. vermöge deren es mit jedem seiner Radien irgend einer Anfangslage desselben stets parallel bleibt. Es wäre also eine kinematische Verkettung zuzufügen, welche diesen Bewegungszwang für *c* mit sich brächte. Eine derartige Verkettung können wir eine Parallelführung nennen.

Es liegt aber auf der Hand, dass für die totalen Umdrehungen von *d* auch eine solche Führung von *c* ausreichen würde, bei welcher die Radien dieses Rades nur Oscillationen, nie aber Rotationen vollziehen könnten. Dies ist geschehen bei dem Wattischen Mechanismus des Planetenrades Fig. 290 (a. f. S.), wo die Pleuelstange *b* zum Balancier hinaufgeht, und immer dem mit ihr fest verbundenen Rade *c* nur Oscillationen, nie aber Drehungen gestat-

tet. Wir haben somit in dem Wattischen Planetengetriebe eine besondere Form des Umlaufräderwerkes $(C_{z2} C''_{3})^{a}$ vor uns. Watt machte gewöhnlich $c = d$, wonach sich denn ergibt:

Fig. 290.



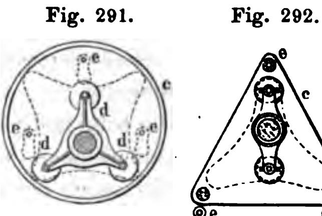
$$\frac{n_1}{n} = 2.$$

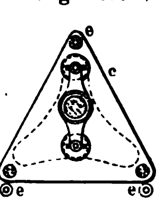
Es ist uns nun noch unbenommen, in dem Räderpaar c, d ein Hohlrad anzubringen. Geschieht dies, so wird ζ negativ. Wird insbesondere das Umlaufrad c zum Hohlrade gemacht, so ist der absolute Werth von $\zeta = \frac{c}{d}$ immer grösser als die Einheit, und es fällt die Umdrehungsrichtung des Zentralrades d negativ, d. h. derjenigen des Lenkers e entgegengesetzt aus*).

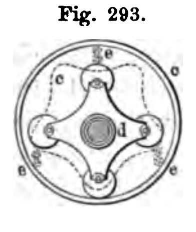
Die noch zu besprechende Galloway'sche rotirende Dampfmaschine ist nichts anderes, als ein Kapselräderwerk, gebildet aus einem Planetenräderwerk mit hohlem Umlaufrade.

Die folgenden drei Figuren stellen drei von Galloway angegebene Formen seiner Dampfmaschine, welche er für Schraubenschiffbetrieb bestimmte, dar. Ich habe den Figuren unsere Buch-

Fig. 291. Fig. 292. Fig. 293.







*) Es sei bemerkt, dass bereits Watt selbst, und zwar sogleich in dem ersten bezüglichen Patentgesuch, die Anwendbarkeit eines Hohlrades im Planetengetriebe hervorhob; siehe Muirhead a. a. O. S. 50.

stabenbezeichnung beigesetzt. Man erkennt in Fig. 291 in dem dreiflügligen „Kolben" ein dreizähniges Zahnrad, das Zentralrad *d* des Planetengetriebes, und in *c* das zugehörige vierzähnige Umlaufrad, welches ein Hohlrad ist. Galloway wandte eine wirkliche und strenge Parallelführung an, indem er das Rad *c*, welches zugleich Dampfkapsel ist, von drei gleichlangen parallelen Kurbeln *e e e* führen liess. In diesen Kurbeln erkennen wir den in §. 66 analysirten Mechanismus wieder, für welchen wir dort die Formel $2\,(C_2''\,\|\,C_2'')^s$ ermittelten. Das eigenthümliche innere Profil der Kapsel machte dem Erfinder viel zu schaffen. Es ist nichts anderes als die Verzahnung des vierzähnigen Hohlrades *c*, welches mit dem dreizähnigen Triebstockrade *d* im Eingriff stehen (und zwar unter dichtem Verschluss im Eingriff stehen!) soll. Der Erfinder, der in seiner Erläuterung von dem Hohlradeingriff wirklich ausgeht, hält die Körper *c* und *d* nicht für Zahnräder, sondern sagt ausdrücklich: „. . . Was ich mir aber vorsetze, ist, in der Mehrzahl der Fälle die gezahnten Räder durch die in den Figuren angegebene Einrichtung zu ersetzen, von welcher ich nunmehr eine Erklärung geben werde. . . .". Die Figur zeigt deutlich genug, dass die Räume zwischen den Zähnen von *d* und *c* zwischen einem Maximum und einem Minimum wechseln, demgemäss zur abwechselnden Aufnahme und Entlassung eines Druckkraftorganes geeignet sein können. Das Verhältniss der Umdrehungen von *d* und *e* ist:

$$n_1 : n = 1 - {}^4/_3 = -{}^1/_3,$$

d. h. bei drei Umläufen des Kapselzentrums, oder, was damit übereinstimmt, der kleinen Leitkurbeln *e*, läuft *d* im entgegengesetzten Sinne einmal um. Galloway will die eine der Leitkurbeln mit der Schraubenachse des Schiffes verbunden wissen, um dieser bei einer gegebenen Umlaufzahl des Kolbens eine dreimal so grosse Umdrehungszahl zu verleihen. Bei Fig. 292 ist $n_1 : n = 1 - {}^3/_2$, bei Fig. 293 : $1 - {}^5/_4$. Der Erfinder bemerkt, dass man auch dem „Kolben" *d* die Leitkurbeln, der Kapsel die gelagerte Rotationsachse geben könne, wir würden sagen: dass man *c* zum Vollrade, *d* zum Hohlrade machen könne, worauf $1 - \zeta$ wieder positiv wird.

Es ist wohl keine Frage, dass die vorliegende Galloway'sche Maschine für die Dampfmaschinenpraxis ohne Bedeutung ist, wennschon Galloway die Ausführung für eine 300pferdige Schiffsmaschine vorbereitet hatte. Für die Kinematik aber ist sie lehrreich. Die vorgenommene Analyse ist nach meinem Dafürhalten abermals in

hohem Grade dazu angethan, das Räthselvolle in manchen Konstruktionen als lösbar erscheinen zu lassen. Zugleich liefert uns die ganze Reihe der in diesem Kapitel betrachteten Beispiele wieder ein Zeugniss von dem merkwürdigen Trieb der Maschinenpraxis, den Kreis der Lösungen eines und desselben kinematischen Problems zu durchlaufen und zwar in vereinzelten von einander gänzlich unabhängigen Anläufen. Diese führen, wie wir sahen, eben wegen ihrer Vereinzelung oft zu den wunderlichsten Auffassungen und sonderbarsten Umwegen. Dass die Schwierigkeiten so bedeutend grösser sein mochten, als das gefundene Resultat verdiente, begreifen wir in vollem Maasse, trotzdem unsere Analyse uns die Einfachheit des inneren Zusammenhanges klar gelegt hat.

EILFTES KAPITEL.

ANALYSIRUNG DER BAULICHEN ELEMENTE DER MASCHINE.

§. 106.

Zusammensetzung der Maschine aus baulichen Elementen.

Nachdem wir uns in den letzten Kapiteln mit den Mechanismen beschäftigt hatten, aus welchen die Maschinen bestehen, wollen wir uns jetzt zu den einzelnen Theilen wenden, aus welchen die Maschine selbst zusammengesetzt wird. Scheinbar greifen wir hierbei hinter dasjenige zurück, was wir bereits untersucht haben. Allein thatsächlich schreiten wir auf dem eingeschlagenen Wege nur vorwärts. Denn das Verständniss der praktischen Wirklichkeit der Maschinenausführungen ist theilweise schwieriger als dasjenige der schematischen Abstraktionen, auf welche wir oben die verwickelten mechanischen Bauwerke zurückgeführt hatten. Erst nachdem wir unsere allgemeinen Anschauungen an grossen Grund-Eigenschaften der Maschine geklärt, theilweise ganz neu gestaltet haben, kann es uns gelingen, in den verwickelten Bildungen der einzelnen Theile das unverrückbar Gesetzmässige aufzufinden und dasselbe von dem Zufälligen zu scheiden. Diese Aufgabe ist in der That sehr schwierig; nach Gewinnung der Einsicht kann man

sich nicht wundern, dass die Auffindung der Wahrheit so grosse Vorbereitungen erforderte. Erst die weitest vorgeschrittene chemische Wissenschaft wagt den Versuch, die für elementar geltenden Stoffe zu spalten; so auch bedarf es der von Vorurtheilen geläuterten kinematischen Wissenschaft, um den Inhalt der vereinzelten Bautheile der Maschine vollständig zu verstehen.

Man hat bisher auf dem Gebiete der Maschinenbaukunde quasi durch Beobachtung das Bestehen der Maschine aus sich wiederholenden Theilen erkannt, und dieselben als „Maschinentheile", „einfache Maschinentheile", „Maschinenbestandtheile", „Maschinendetails", „Maschinenelemente", oder, wie ich mich seit einer Reihe von Jahren ausdrücke, als die „baulichen Elemente der Maschine" bezeichnet. Diese Theile sind sorgfältig studirt und in Lehrbüchern behandelt worden.

Der ganzen hierbei zur Geltung kommenden Auffassung ist eine grosse Zurückhaltung nicht abzusprechen. Es wird nicht, wie hinsichtlich der „einfachen Maschinen" geschehen ist, die Zusammensetzbarkeit aller Maschinen aus den „Maschinenbestandtheilen" behauptet, vielmehr nur auf die Häufigkeit des wiederholten Vorkommens hingewiesen. Verborgen unter der Oberfläche schlummert allerdings ein derartiger Gedanke; allein er wird nicht zur Klarheit entwickelt, weil die allgemeinen Anschauungen über die Maschine nicht zur Fassung positiver Grundsätze aufforderten, auch die fortschreitende Entwicklung des Maschinenbauwesens eine misstrauisch machende Wandelbarkeit der „Elemente" erkennen liess. Aus diesen Gründen ist man auch nicht zu einer bestimmten klaren Aufzählung der „Maschinendetails", und ebensowenig zu eigentlichen Definitionen derselben vorgegangen. Nur das Gefühl, der Instinkt, wenn ich es so sagen darf, hat eine mehr oder weniger bestimmte Begrenzung der Elementenzahl angenommen; wenigstens ist im allgemeinen so verfahren worden, als ob eine solche bestehe.

Die folgende Aufzählung der Maschinendetails ist deshalb weder allgemein angenommen, noch auch ernstlich bestritten; sie gibt nur in Hauptzügen die durchschnittlich gültige Ansicht von dem wieder, was man Maschinentheile nennt. Es werden als solche angesehen:

Schrauben u. Verschraubungen,	Zapfen (Drehzapfen),
Keile und Keilverbindungen,	Achsen,
Nieten und Nietungen,	Wellen,

Kupplungen,	Hebel,
Zapfenlager,	Kurbeln,
Lagerstühle, Gestelle,	Pleuelstangen,
Seile und Riemen,	Querhäupter u. Führungsgleise,
Ketten und Zubehör,	Sperrräder und Sperrwerke,
Reibungsräder,	Bremsscheiben u. Bremswerke,
Riemscheiben und Riementrieb,	Röhren u. Röhrenverbindungen,
Seilscheiben und Seiltrieb,	Dampf- und Pumpencylinder,
Zahnräder,	Ventile,
Kettenräder,	Kolben und Stopfbüchsen,
Schwungräder,	Federn.

Neben diesen Konstruktionstheilen, welche alle eine sehr häufige Anwendung haben, kommen andere vorzugsweise nur an einzelnen Maschinen, z. B. solchen zum Spinnen, zum Weben, zum Bearbeiten von Metall u. s. w. zur Verwendung, sind aber hier wiederum so häufig im Gebrauch, dass man versucht ist, auch sie zu den „Maschinendetails“ zu zählen. Man hat gelegentlich die Unterscheidung eingeführt, jene oben aufgezählten Maschinentheile „allgemeine“, die letzterwähnten „besondere“ zu nennen, was als gerechtfertigt angesehen werden kann. Ohne indessen Beispiele dieser zweiten Gattung heranzuziehen, wollen wir uns jetzt zur Einzeluntersuchung der ersteren wenden, um vor allem diese hinsichtlich ihres kinematischen Inhaltes genau kennen zu lernen.

§. 107.

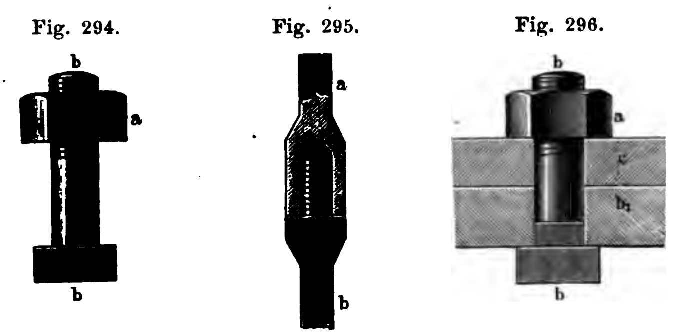
Schrauben und Verschraubungen.

Hinsichtlich der gewöhnlichen Mutterschraube, Fig. 294 (a. f. S.), besteht kein Zweifel, dass wir das Elementenpaar (S) oder $S^{+}_{=}S^{-}$ vor uns haben. Ebendasselbe gilt von anderen Anwendungen der Schraube, wo, wie bei dem Bohrgestänge, Fig. 295, Mutter und Schraube je einem von zwei zu verbindenden Stücken angehören. Anders aber steht es bei den sogenannten Schraubenverbindungen oder Verschraubungen, deren Fig. 296 eine einfache und gebräuchliche darstellt.

Hier sind zunächst vier Stücke, a, b, b_1 und c vorhanden; der Zweck des Ganzen ist die feste Verbindung von b_1 mit c. Wir bemerken alsbald, dass die Schraube b mit dem Stücke b_1 vermöge des prismatischen Ansatzes über dem Schraubenkopfe undrehbar

verbunden ist (vergl. §. 19), wonach hinsichtlich der Drehbewegungen b und b_1 wie ein Stück zu betrachten sind. Wird die Schrau-

Fig. 294. Fig. 295. Fig. 296.



benmutter a fest auf die Schraube b gedreht, so legt sich der Schraubenkopf fest gegen das Stück b_1. Dies geschieht durch die Vermittlung des Paares (S), also, wie wir uns früher (§. 47) ausdrücken lernten, durch Paarschluss. Somit ist denn b mit b_1 gegen Drehung durch geeignete Stützungsprofile, gegen Schiebung durch Paarschluss gestützt; beide Theile bilden demnach kinematisch ein einziges Stück.

Das Stück c würde, wenn unsere Figur die Verbindung schon vollständig gäbe, gegen b drehbar sein. Bei vollständiger Ausführung aber ist dasselbe, sei es durch eine zweite, der dargestellten parallele Schraube, oder anderweitig, an Drehungen um die Schraubenachse gehindert; Bewegung ist ihm vor Schluss der Verbindung nur in der Richtung der Schraubenachse gestattet. Mit anderen Worten, c ist gegen $b\,b_1$ prismatisch geführt, oder mit $b\,b_1$ durch ein zur Achse von b paralleles Prisma gepaart. Demnach besteht im Grunde das Stück $b\,b_1$ aus zwei fest verbundenen kinematischen Elementen: einer positiven Schraube, S^+, und einem zu derselben parallelen Prisma, P^+ oder P^-.

Die Schraubenmutter a besitzt ausser dem Elemente S^-, welches durch ihre innere Höhlung dargestellt wird, noch ein zweites kinematisches Element in ihrer plankegelförmigen Grundfläche, mit welcher sie auf c aufliegt, oder richtiger, mit letzterem gepaart ist. Die Form dieser Paarungsfläche könnte auch anders als plan sein; sie ist im allgemeinen richtig, wenn sie einem Drehkörper angehört, der mit der Schraube konaxial ist. Hier ist das Drehkörperpaar zwischen a und c unselbständig und zwar paarschlüssig. Indessen ist dies nebensächlich, und wir finden, dass

das Stück a aus einem Elemente S^{-} und einem zu S^{-} konaxialen Drehkörper R besteht, dessen Partner dem Stücke c angehört.

Letzteres Stück besteht hiernach ebenfalls aus zwei Elementen, nämlich dem oben erwähnten Prisma, welches mit demjenigen an bb_1 gepaart ist, und dem soeben gefundenen Drehkörper, dessen Achse parallel zu dem Prisma steht.

Das Ergebniss unserer Untersuchung ist also, dass die Schraubenverbindung eine dreigliedrige kinematische Kette vorstellt, welche aus den Paaren (S), (R) und (P) gebildet ist. Schreiben wir dieselbe vollständig an, indem wir der Einfachheit wegen die Unselbständigkeit von (R) unberücksichtigt lassen, auch für (R) wieder, wie nach §. 57 statthaft ist, (C) setzen, so erhalten wir als Formel für die Kette:

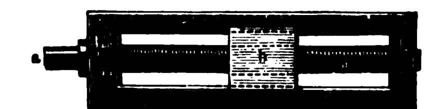
$$\overbrace{C^{-}\ldots|\ldots S^{-}_{=}}^{a}\overbrace{S^{+}\ldots\|\ldots P^{-}_{=}}^{b}\overbrace{P^{+}\ldots\|\ldots C^{\pm}_{=}}^{c}$$

wofür wir aber auch wegen der Umkehrbarkeit der niederen Paare und weil hier | mit || gleichbedeutend ist, schreiben dürfen:

$$\overbrace{C^{+}\ldots|\ldots S^{\pm}_{=}}^{a}\overbrace{S^{-}\ldots|\ldots P^{\pm}_{=}}^{b}\overbrace{P^{-}\ldots|\ldots C^{-}_{=}}^{c}$$

Dann aber erkennen wir in ihr die uns bereits bekannte Kette, welche Fig. 297 darstellt. Konzentrirt haben wir dieselbe $(S'P'C')$ zu schreiben. Soll noch das Glied b als festgestellt, das Glied a als treibend hervorgehoben werden, so hat die (bestimmte) Formel des Mechanismus zu lauten: $(S'P'C')^{\frac{b}{a}}$.

Fig. 297.



Bei den Anwendungen des Schraubenpaares zum Fortbewegen, wie bei den Drehbänken, und denjenigen zum Ausüben von Druck, wie bei den Schraubenpressen, treten die drei Glieder $a\,b\,c$ deutlich hervor, im ersten Falle in der Ordnung $(S'P'C')^{\frac{c}{a}}$, im letzteren meistens in der Ordnung $(S'P'C')^{\frac{b}{a}}$. Wiederholt stösst man auch in Verschraubungen selbst auf die in Fig. 297 gegebene Form der Kette, z. B. in

Fig. 298.



Fig. 299.



der schon früher einmal herangezogenen Verbindung mittelst der Kopfschraube, Fig. 298 (a. v. S.); auch kommen allerlei besondere Gestaltungen in der Verbindung von b mit b_1 zur Anwendung, vergl. z. B. Fig. 299. Immer aber finden wir in den sogenannten Verschraubungen, die insbesondere ja hier zu untersuchen sind, das Paar $S^{+}_{=}S^{-}$ in die Kette $(S'C'P')$ eingereiht.

Die Wirksamkeit der Kette ist in den verschiedenen angezogenen Beispielen verschieden. Bei der Leitspindel-Drehbank und der Schrauben-Presse, welche wir mit der Verschraubung in gewisser Hinsicht vergleichen konnten, entspricht sie den allgemeinen Aufgaben der kinematischen Ketten. Bei den Verschraubungen thut sie dies allerdings auch, aber nur innerhalb eines sehr kleinen Spieles — desjenigen nämlich, welches zur Aneinanderpressung der Stücke b und c ausreicht — und hört alsdann auf, kinematisch benutzt zu werden. In der fertigen, thätigen Maschine wirkt die in der Verschraubung stehende kinematische Kette als solche nicht mehr mit, und ist deshalb auch in der kinematischen Formel der Maschine nicht besonders aufzuführen. Sie hat nur einen zeitweiligen Dienst geleistet: denjenigen, zwei oder mehrere Stücke so fest miteinander zu verbinden, dass dieselben wie ein einziger Körper gebraucht werden können, eine Aufgabe, welche auch bei Bauwerken, die nicht Maschinen sind, häufig vorkommt.

Eine Schraubenverbindung, welche etwa an dem Deckel eines Dampfcylinders gebraucht ist, oder ein Zapfenlager mit dem Maschinengestell zusammenhält, hat hiernach in der Maschine nicht eine machinale, sondern eine struktive, eine Bau-Funktion. Sie bewirkt insbesondere diejenige Verbindung, welche wir durch die Punktreihe...... in der ausführlichen kinematischen Formel andeuten; mit anderen Worten, sie dient in der kinematischen Kette zur Gliedbildung.

An diese letztere stellen wir vor allem die Forderung der Festigkeit. Ausserdem ist ihre Formgebung in kinematischer Beziehung gleichgültig, wenn nur so verfahren wird, dass die Kettenglieder einander in ihrer gegenseitigen Bewegung nicht hindern. Hieraus können wir uns die bestehende Vielgestaltigkeit der Verschraubungen erklären, finden indessen in der obigen ausführlichen Formel auch die Konstruktionsbedingungen aller Verschraubungen bestimmt angegeben.

Auf gewisse Nebenkonstruktionen der Verschraubungen, die Schraubensicherungen, kommen wir weiter unten zurück.

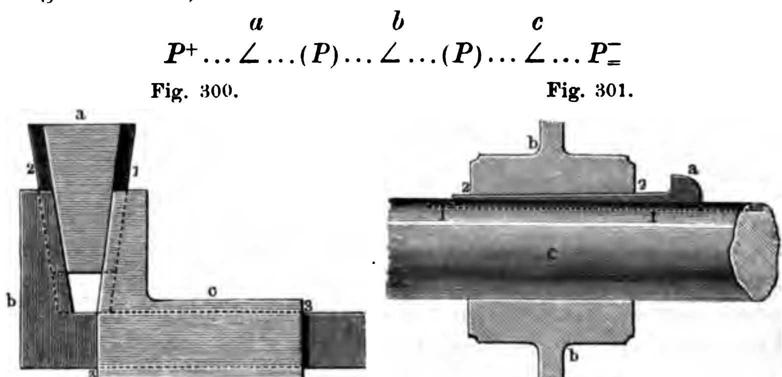
§. 108.

Keile und Keilverbindungen.

Schon in §. 64 haben wir gesehen, dass der Keil nicht ein kinematisches Element in unserm Sinne ist, sondern dass er aus zwei kinematischen Elementen, nämlich zwei Prismen besteht, und in seinen bekannten Anwendungen als Glied einer dreigliedrigen kinematischen Kette auftritt. Diese Kette, welche durch Fig. 300 dargestellt wird, hat die Formel:

$$P^+ \ldots \overset{a}{\angle} \ldots (P) \ldots \overset{b}{\angle} \ldots (P) \ldots \overset{c}{\angle} \ldots P^-_=$$

Fig. 300. Fig. 301.



welche in der konzentrirten Form $(P^{\angle}_{3})$ lautet. Die Keilverbindungen, die wir in den Maschinen anwenden, haben in der That durchweg diese Zusammensetzung, abgesehen von der gelegentlichen Schliessung unselbständiger Paare durch Kräfte oder fremde Paare.

Schon die gewöhnliche Aufkeilung einer Nabe auf eine Achse, Fig. 301, zeigt die drei Keilkettenglieder *a*, *b*, *c*. Die Prismenpaare 1 und 2 sind sofort zu erkennen, jedes einzeln unselbständig, aber durch das andere geschlossen. Das Paar 3 fehlt. Allein die Nabe, die sich beim Aufkeilen nur senkrecht zur Achse *c* bewegen soll, wird kraftschlüssig an anderen Bewegungen verhindert.

Bei Befestigung einer runden Stange in einer Dille, Fig. 302 (a. f. S.), finden wir alle drei Glieder *a*, *b*, *c* und alle drei Paare. Die Paare 1 und 2 nämlich an den schmalen Flanken des Keiles, das Paar 3 an der cylindrischen Berührungsfläche von *b* und *c* und ausserdem da, wo die beiden Keilflanken in *c* eingelassen sind. Diese Einlassung bezweckt zugleich die Prismatisirung von *b* gegen *c*.

In der Keilung des Pleuelkopfes, Fig. 303, sind die Paare 1 und 2 unselbständig, 3 aber selbständig. Die Stücke b_1 und b_2 bilden beziehungsweise mit *c* und *b* kinematisch je ein und dasselbe Stück.

Fig. 302.

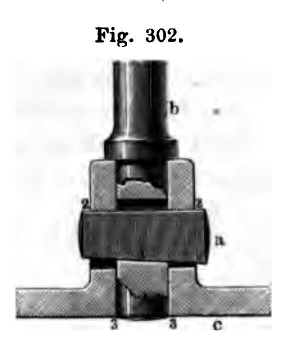
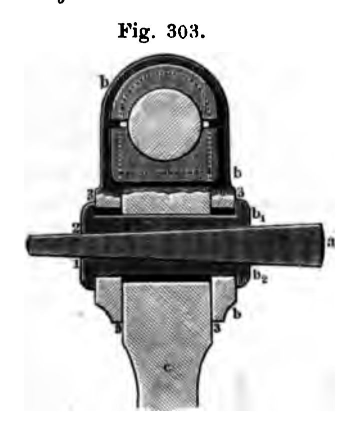


Fig. 303.



Die Keilverbindung ist, wie aus diesen Beispielen hervorgeht, im allgemeinen eine dreigliedrige kinematische Kette, welche aber, ähnlich der Verschraubung, nicht kinematisch thätig in der Maschine auftritt, sondern zur Gliedbildung dient. Neben dieser Funktion findet übrigens die Kette (P_3^L) in der Maschine ähnlich der bei der Verschraubung benutzten Kette $(S'P'C')$ mannigfaltige Verwendungen zur Fortbewegung oder zur Druckausübung, in welchen Fällen sie aber nicht zu den baulichen Elementen der Maschine zählt, sondern als Mechanismus betrachtet wird.

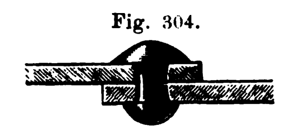
§. 109.

Nieten und Nietungen, Schwund- oder Zwängverbindungen.

Eine einzelne Niete, welche zwei Platten verbindet, Fig. 304, könnte als die Verwirklichung eines Cylinderpaares $C_{=}^{+}C^{-}$ angesehen werden, wofern man die Niete mit einer der beiden Tafeln fest verbunden annimmt. Die beiden Stücke beschreiben dann, wie die Elemente eines solchen Paares, gegeneinander reine Drehbewegungen. Derartige Anwendungen der Nieten sind in der That in Gebrauch, z. B. bei den Gelenkketten. Allein man hat doch

solche Konstruktionen eigentlich den Drehzapfen, von welchen weiter unten zu handeln ist, zuzuzählen. Die eigentlichen Nietungen oder Nietverbindungen sind mit mehr als einer Niete ausgerüstet und gestatten keinerlei relative Bewegung der beiden vereinigten Stücke. Sie haben im Grunde keine Bedeutung als kinematische Elemente, indem sie zudem auch plastische Umgestaltungen der Stücke, Erzeugnisse des technischen Prozesses der Schmiederei sind. Als bauliche Elemente der Maschine dienen sie wie die Verschraubungen und Keilungen zur Bildung der Glieder der kinematischen Kette. Mit Vorzug werden sie bekanntlich zur Herstellung von Kesseln, Röhren, Behältern aller Art benutzt, d. i. zur Bildung der Gefässkörper V^{-}, welche dazu bestimmt sind, Druckkraftorgane, flüssige wie gasförmige, zu umschliessen.

Fig. 304.



Die Nietungen bewirken das Zusammenpressen der zu verbindenden Körper zu bedeutendem Theile durch das Zusammenschrumpfen oder Schwinden beim Erkalten der heiss eingesetzten Nieten. Aus diesem Grunde werden neben ihnen auch noch diejenigen Verbindungskonstruktionen unter den Maschinenelementen behandelt, welche im Umgürten von Körpern mit Schwind- oder Schwundringen, Schrumpfringen, Zwingen bestehen. Diese Ringe werden gewöhnlich in erhitztem Zustande auf die zu verbindenden oder auch bloss zu verstärkenden Körper aufgebracht, und wirken in Folge ihrer Zusammenziehung beim Erkalten mit grosser Kraft. In der neueren Zeit ist dieselbe Wirkung dadurch erzielt worden, dass man die Schwundverbindung mittelst der Presse ohne vorgängige Erwärmung herstellt; man hat sie damit auf eine Reihe wichtiger Fälle ausgedehnt, wo sie ältere Formen mit Erfolg verdrängt hat, wie bei der Befestigung der Naben der Eisenbahnwagenräder, der Kurbeln der Lokomotiven, der Zapfen dieser Kurbeln u. s. w. Im Ganzen ist diese zweite Ausführungsweise der ersteren sehr nahestehend; sie verhält sich etwa zu ihr wie kalte Nietung zur heissen. Wir dürfen daher die beiden Arten nicht trennen, und können sie wohl als Zwängungs- oder Zwängverbindungen zusammenfassen. Auch erscheint es hiernach gerechtfertigt, wie einzelne Schriftsteller gethan haben, sie unter den Maschinenelementen gesondert zu behandeln.

Kinematisch betrachtet stellen sich uns die Zwängverbindungen als solche Körperverbindungen dar, welche den Cylinder- oder

den Prismenpaaren, (C) oder (P), zuzuzählen sind, bei denen aber die Körper einander so streng berühren, dass gewöhnlichen Kräften gegenüber die Partner sich wie zu einem Körper vereinigt verhalten und deshalb zur Bildung von Kettengliedern dienen können. Es ist wesentlich die durch den Zwängungsdruck erzeugte Reibung, welche diese enge Verbindung aufrecht hält. Wir werden später noch einmal auf diesen Punkt zurückkommen.

§. 110.

Zapfen, Achsen, Wellen.

Die Drehzapfen verschiedener Art erfordern einen nicht unbedeutenden wissenschaftlichen Apparat in der Konstruktionslehre. Bei ihnen tritt die in §. 2 hervorgehobene Zweitheiligkeit in den Berechnungsunterlagen, welche einerseits die sensiblen Kräfte, andererseits die latenten Kräfte berücksichtigt, in ausgedehntem Maasse in Kraft. Kinematisch betrachtet ist der Zapfen ein einzelnes Element aus dem Paare $C \underline{\pm} C^{-}$, und zwar das Element C^{+}, oder allgemeiner R^{+}, wenn man statt (C) das allgemeinere Zeichen (R) gebraucht wissen will. Der Zapfen nebst seinem Lager, oder die Elementenverbindung $R \underline{\pm} R^{-}$ kann als das allerverbreitetste Elementenpaar bezeichnet werden, indem dasselbe in fast allen kinematischen Ketten zur Verwendung kommt, in grossem und in kleinem Maassstab, unter geringen wie unter grossen Geschwindigkeiten, den winzigsten wie den gewaltigsten Belastungen. Auf das Element R^{-} kommen wir in §. 112 zurück.

Achsen sind konaxiale Verbindungen von Zapfen, d. i. kinematische Kettenglieder von der Form $C^{+} \ldots | \ldots C^{+}$. Tragachsen insbesondere sind Achsen, welche vorzugsweise biegenden Kräften zu widersetzen haben.

Die Wellen sind ebenfalls Kettenglieder von der Form $C^{+} \ldots | \ldots C^{+}$. Sie werden von den Tragachsen als solche Achsen unterschieden, welche vorzugsweise verdrehende Kräfte aufzunehmen haben, sind indessen, wie die Formel ausweist, kinematisch nicht von ihnen zu trennen.

Die drei genannten baulichen Maschinenelemente haben hiernach kinematisch eine durchaus klare Stellung in der Maschine.

§. 111.

Kupplungen.

Unter Kupplungen werden gewisse Konstruktionen verstanden, vermöge deren die Drehachsen oder Wellen einander ihre Bewegung mittheilen. Die kinematische Stellung der Kupplung ist nicht so einfach anzugeben, wie die der vorhin besprochenen Maschinentheile, da man Einrichtungen sehr verschiedener Art unter dem Namen Kupplung begreift. Denn zur Mittheilung der Drehbewegung von einer Welle zu einer anderen dienen auch Zahnräder, Riemscheiben oder Räderwerke überhaupt, werden aber nicht zu den Kupplungen gerechnet. Nichtsdestoweniger sind die eigentlichen Kupplungen oftmals mehrgliedrige Mechanismen. Man kann die Wellenkupplung dahin definiren, dass sie als Vermittlerin solcher Drehungen von Welle zu Welle dient, welche in gleichen Zeiten gleiche Umlaufzahlen haben, im selben Sinne stattfinden, und nicht durch Räderwerke übertragen werden. Diese Definition ist, wie gerne zugegeben wird, nicht scharf; allein ganz dasselbe gilt von dem Begriff der Wellenkupplung selbst.

Die Kupplungen lassen sich in feste, bewegliche und lösbare theilen*). Wir wollen von diesen Klassen hier zunächst die beiden ersten betrachten, und uns erst weiter unten zu der dritten wenden.

Die festen Kupplungen verbinden zwei Wellen derartig, dass dieselben wie ein einziger Körper anzusehen sind. Man führt sie als Verschraubungen, als Keilverbindungen oder als beides zugleich aus; grundsätzlich würde selbst die Nietverbindung nicht ausgeschlossen sein.

Fig. 305.

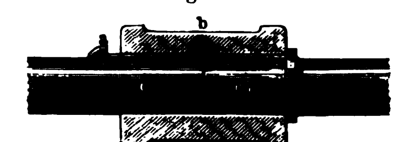
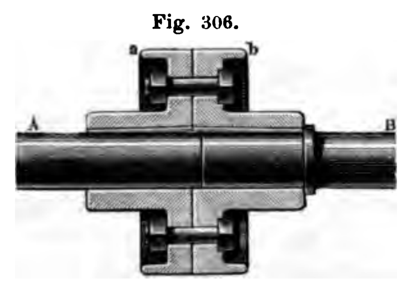


Fig. 305 zeigt eine sogenannte Muffenkupplung, bei welcher die drei Glieder und drei Paare der Kette (P_3^L) deutlich erkennbar sind. Die Scheibenkupplung, Fig. 306 (a. f. S.), ist eine Vereinigung zweier Keilverbindungen mit einer mehrfachen Verschraubung. Andere feste Kupplungen

*) Siehe meinen Konstrukteur, III. Aufl., S. 253.

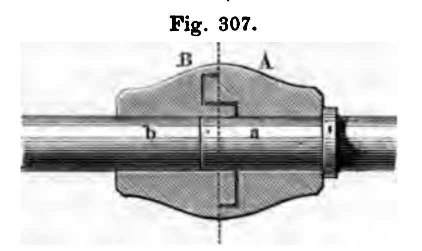
zeigen noch reichere Verbindungen. An allen aber bemerken wir als Grundeigenschaft, dass sie zur Gliedbildung dienen, und zwar insbesondere also Gliedbildungen von der Form $C^{+} \ldots | \ldots C^{+}$ sind.

Fig. 306.



Die beweglichen Kupplungen zerfallen wieder unter sich in längsbewegliche, querbewegliche und im Winkel bewegliche oder gelenkige. Beispiel einer längsbeweglichen Kupplung ist die Sharp'sche Klauenkupplung, Fig. 307. Sie ist als Prismenpaar $P^{+}_{=}P^{-}$ gebildet, indem die Klauen der Stücke $A\ B$ prismatisch und parallel zur geometrischen Achse der Wellen a und b in einander greifen. Nebensächlich ist, dass die Stücke A und B durch Keilverbindungen mit a und b fest verbunden sind.

Fig. 307.

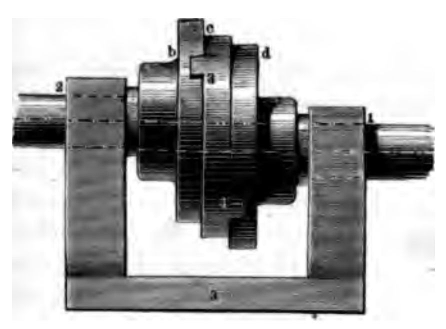


Eine querbewegliche Kupplung ist die Oldham'sche, Fig. 308, welche wir schon im §. 72 ausführlicher besprochen und als einen Mechanismus von der Form

$$(C_2'' P_2^{\perp})^{\frac{a}{b}},$$

die rotirende Kreuzschleife genannt, erkannt haben.

Fig. 308.



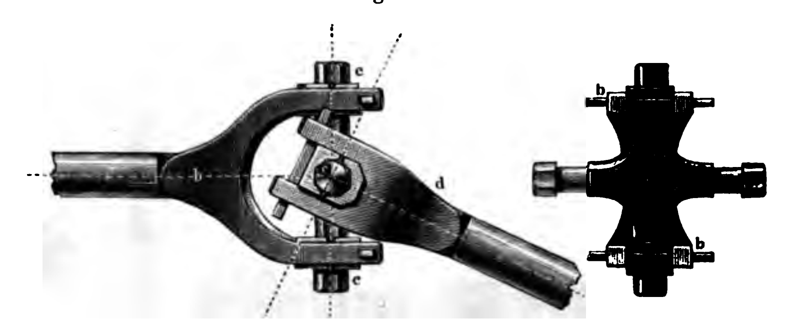
Eine gelenkige Kupplung ist die Cardanische oder das Universalgelenk, Figur 309. Diese haben wir in unseren früheren Untersuchungen bereits wiederholt angetroffen und in §. 62 als das rotirende Kreuzgelenk $(C_3^{\perp} C^{\llcorner})^{\frac{a}{b}}$ erkannt. Nicht zu übersehen ist, dass gewöhnlich, wie hier, das vierte Glied $C^{-} \ldots \angle \ldots C^{-}$ nicht mit dargestellt wird.

Diese Beispiele mögen genügen, um zu zeigen, dass wir in den beweglichen Kupplungen theils Elementenpaare, theils

ausgebildete Mechanismen oder Theile von solchen vor uns haben, deren Glieder selbst wieder unter Umständen eine beson-



Fig. 309.



dere Ausbildung mittelst der Verschraubungen und Keilungen erhalten.

§. 112.

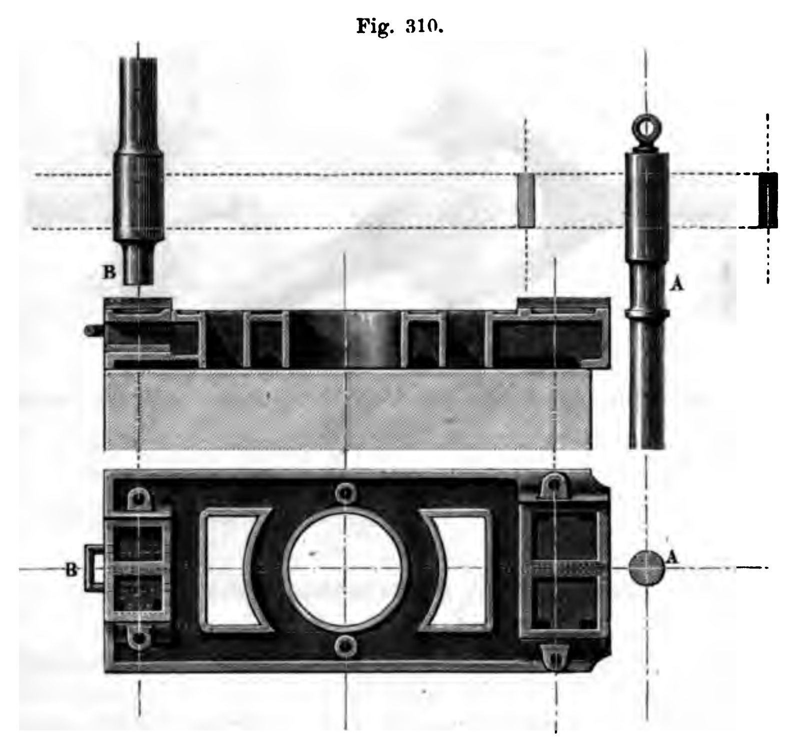
Zapfenlager, Lagerstühle, Gestelle.

Das Zapfenlager ergänzt den Zapfen C^+ zu dem vollständigen Elementenpaare $C\overset{+}{=}C^-$, ist also das einzelne kinematische Element C^-. Es wird in mannigfacher Weise mit Verschraubungen, Keilungen und kleineren Hilfsmechanismen versehen, welche dazu bestimmt sind, theils die Bautheile zu verbinden, also die Gliedbildung zu bewirken, theils die Oelung und Reinhaltung zu erleichtern, wegen beider Umstände also in die kinematische Hauptformel nicht eingehen.

In den Lagerstühlen, den Trägern von Zapfenlagern, erblicken wir nichts anderes als die festgestellten Stege kinematischer Ketten, vorgerichtet um die Elemente von der Form C^- oder C^+ mittelst Verschraubungen und Keilungen aufzunehmen; oftmals sind sie auch mit Hauptheilen derselben aus einem Stücke hergestellt. Fig. 310 (a. f. S.) zeigt einen Lagerstuhl für die parallelen Wellen A und B. Denken wir uns die beiden Lager hinzugefügt, so haben wir in dem Ganzen nur die konstruktive Ausführung des durch Fig. 311 dargestellten Steges $C^- \ldots \| \ldots C^-$ zu erblicken.

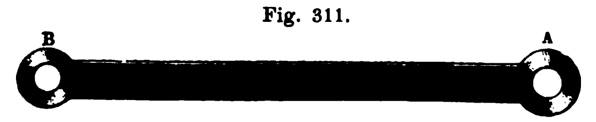
Der Lagerstuhl für zwei rechtwinklige Wellen, Fig. 312, bei Turbinen vielfach benutzt, ist, wenn die Lager bei E und F

Fig. 310.



hinzugedacht werden, kinematisch gleichwerthig mit dem Stege $C^- \ldots \perp \ldots C^-$ in Fig. 313, oder, da wir jederzeit die niederen

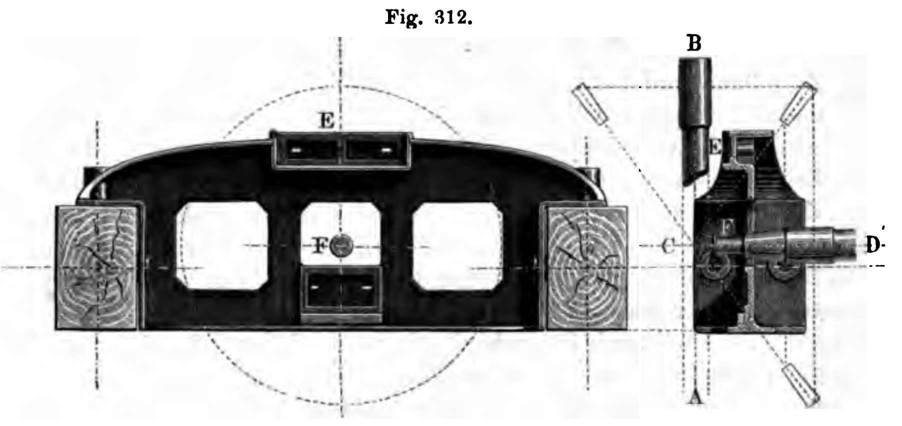
Fig. 311.



Paare umkehren dürfen, mit dem Stücke $C^+ \ldots \perp \ldots C^+$ in Fig. 314. Lagerschalen, Schrauben, Deckel, Ankerschrauben u. s. f. dienen nur zur konstruktiven Verwirklichung einestheils der Elemente C^-, andererseits der Verbindung des Ganzen mit dem Boden oder Gebäude. Den zusammengesetzten Lagerstuhl, Fig. 315, können wir — immer die Hinzufügung der Zapfenlager vorausgesetzt — durch den aus vier Elementen von der Form C^- bestehenden Steg, Fig. 316, ersetzen.

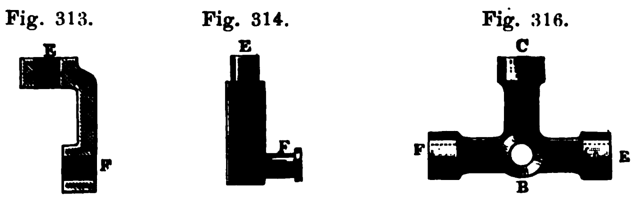
Es ist mitunter dem Konstruirenden sehr zu empfehlen, sich in der angedeuteten Weise die Lagerstühle und überhaupt die Ge-

Fig. 312.



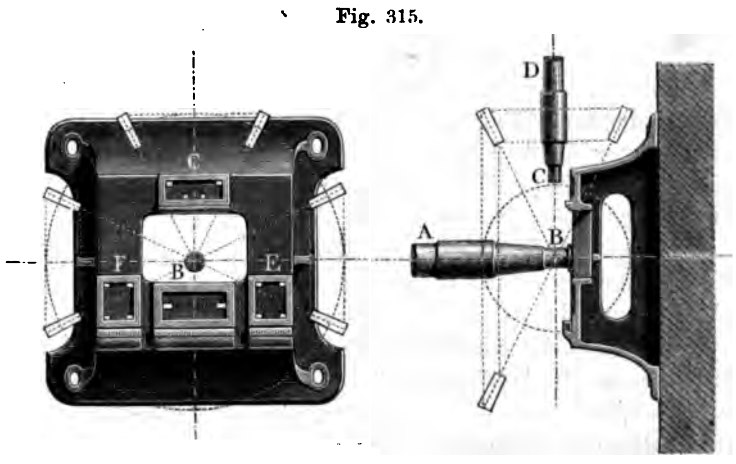
stellbauten in ihrer ganzen kinematischen Einfachheit klar zu machen, ehe er an den Entwurf geht. Er zwingt sich dadurch zur

Fig. 313. Fig. 314. Fig. 316.



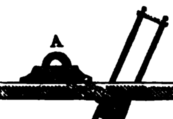
Abstraktion; die Einfachheit und Güte der Konstruktion kann dadurch nur gewinnen. Im allgemeinen sind wir erst auf dem Wege,

Fig. 315.



den so schlichten Gedanken, dass der festgestellte Theil der Maschine ein wirklicher Theil der kinematischen Gliederung ist, klar zu fassen und durchzuführen. Nur zu leicht wird noch allermeist übersehen, dass die Mauer, der Balken, der Fussboden, auf welche Zapfenlager oder Leitschienen und dergleichen befestigt werden, dadurch zu einem Gliede der kinematischen Kette einer Maschine wird. Ich machte schon früher (§. 58) darauf aufmerksam, wie in Zeichnungen der ruhende Steg so oft weggelassen werde. Ohne Zweifel hängt diese Auslassung zusammen mit der Unklarheit über das festgestellte Glied, und wirkt dadurch auch zurück auf den Beschauer der Zeichnung. Denn diese gibt keinerlei Veranlassung, sich darüber klar zu werden, dass der weggelassene und doch so wichtige Theil auch fest gebaut sein müsse. Wer z. B. wird durch die folgende, einem modernen kinematischen Lehrbuche entnommene Darstellung einer oscillirenden Dampfmaschine, Fig. 317, dazu angeregt, sich deutlich vorzustellen, dass die Zapfenlager *A* und *B* eine feste Verbindung haben müssen? Sie sind anscheinend zusammenhangslos. Das vorliegende Beispiel ist aber nur eines unter vielen. Wir dürfen uns daher nicht wundern, diese selbe Verbindung auch in der Maschinenpraxis öfters unvollkommen ausgeführt zu finden. Die älteren Fachgenossen werden sich noch des Aufsehens erinnern, welches in engeren Fachkreisen die Penn'sche Konstruktion der oscillirenden Schiffsdampfmaschine bloss darum machte, weil Penn durch eingeschaltete Kreuzstreben gerade den genannten Gestelltheil der Maschine besonders widerstandsfähig gemacht hatte. Und doch hatte Penn nur die ganz schlichte Forderung erfüllt, welche wir ganz zu Anfang (§. 1) als eine solche erkannten, die an jedes Glied der kinematischen Kette gestellt werden müsse.

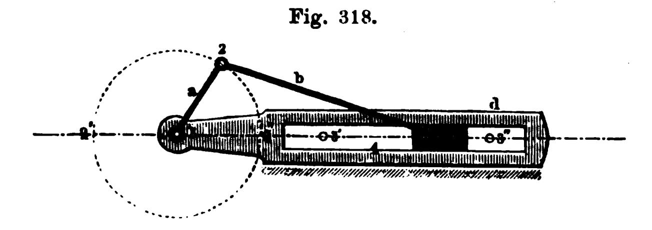
Fig. 317.



Heute sehen wir einen ganz ähnlichen Prozess sich bei der liegenden Dampfmaschine vollziehen, für welche von Amerika aus die Anwendung eines schweren balkenförmigen Untergestells, das den Cylinder und das Kurbellager trägt, eingeführt wurde. Dieser Lagerbalken der Corliss'schen, Allen'schen, Tangye'schen u. s. w. Dampfmaschinen, was ist er anderes, als der Aufstellungssteg *d* unseres rotirenden Schubkurbelgetriebes $(C_3''P^{\perp})^d$ Fig. 318? Man

sollte kaum glauben, dass die Maschinenbauer von heute soeben erst dazu gekommen sind, zu dieser Bauart überzugehen, dass sie

Fig. 318.



noch mehr oder weniger in der Bewunderung der darin enthaltenen „Verbesserung" begriffen sind, während doch dieselbe aus unseren Grundsätzen als ganz selbstverständlich hervorgieng. Allein der Maschinenbauer bisherigen Stiles hält vermöge der allgemein gültigen Vorstellungen noch vieles für einfach und selbstverständlich, was zerlegbar ist und sehr des Beweises bedarf, für verwunderlich aber, was eine unmittelbare Folgerung aus feststehenden Sätzen ist. Man erkennt in dem letzteren Umstande die überwindende Kraft eines ächten logischen Zusammenhanges.

Aehnliche Beispiele wie das obige, welche den Mangel an grundsätzlicher Auffassung des Gestellbaues ins Licht setzen, liessen sich noch in grosser Zahl anführen. In engem Zusammenhange mit diesem Mangel stand auch Redtenbacher's Versuch, die Maschinen mit einheitlich konstruirtem Gestelle als besondere Klasse aufzufassen, für welche er den Namen Möbelmaschinen angewandt wissen wollte. Wir haben gesehen, dass die richtige Behandlung der Aufgabe sehr einfach und verständlich ist und einer solchen Ausscheidung nicht grundsätzlich bedarf, weshalb diese füglich unterbleiben kann.

§. 113.

Seile, Riemen und Ketten.

Dass die Seile, Riemen und Ketten kinematische Elemente sind, haben wir in §. 41 bereits festgestellt. Sie sind die Zugkraftorgane T_n, T_p und T_s. Werden dieselben so benutzt, dass sie mit Haken, Verschraubungen, Nieten u. s. w. entweder endlos, d. h. in sich selbst zurücklaufend gemacht, oder mit anderen Körpern ver-

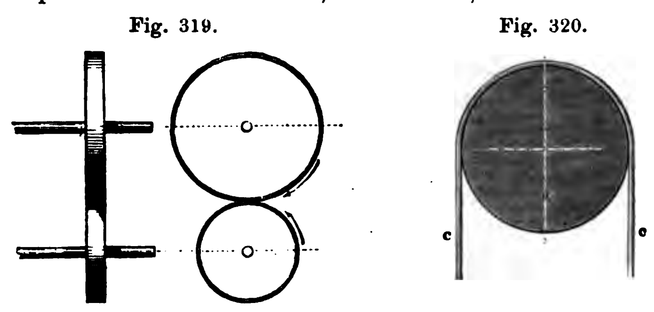
bunden sind, so stellen sie Glieder gewisser kinematischer Ketten vor, von denen wir alsbald zu sprechen haben werden. Die Gelenkketten oder Galle'schen Ketten sind im Grunde genommen Verbindungen von zahlreichen kinematischen Kettengliedern von der Form $C^{+}\ldots\|\ldots C^{-}$, die in ihrer Gesammtheit durch die Einschaltung eines Steges zwischen die Kettenräder geschlossen werden.

§. 114.

Reibungsräder, Riementrieb, Seiltrieb.

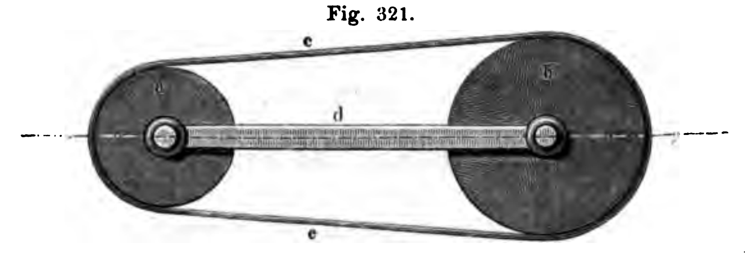
Die Reibungs- oder Reibräder sind kinematische Elemente aus kraftschlüssigen Elementenpaaren. Werden zusammengehörige, ein Räderpaar bildende Ausführungen derselben betrachtet, vergleiche Fig. 319, so handelt es sich um vollständige und zwar höhere Elementenpaare von der Form R^{+},R^{+} oder R^{+},R^{-}.

Fig. 319. Fig. 320.



Die Rolle, welche zur Leitung eines Seiles oder Riemens dient, oder ein solches Organ durch ihre Drehung in Bewegung setzt, bildet mit demselben ein Elementenpaar $R^{+},T^{\pm}$, siehe Fig. 320.

Fig. 321.



Zwei solcher Paare, welche wie wir wissen kraftschlüssig sind, liefern, in geeigneter Weise vereinigt, den Riementrieb, beziehungsweise Seiltrieb, Fig. 321, wenn die Rollenachsen und der Aufstellungssteg

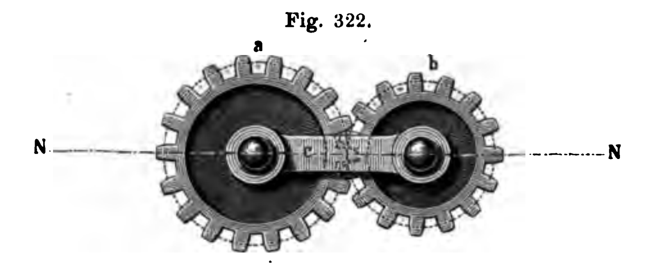
hinzugefügt werden, vergleiche §. 44. Die einzelne Seilrolle, Riemscheibe, Seilscheibe mit ihrer Achse ist ein Glied der vorliegenden kinematischen Kette, ebenso das endlos zusammengeschlossene Zugkraftorgan. Die Maschinenbaukunde behandelt die Regeln für den Bau dieser Kettenglieder.

§. 115.

Zahnräder, Kettenräder.

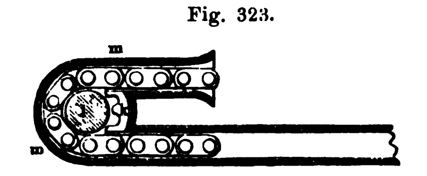
Die Zahnräder sind Glieder aus der Kette $(R_z C_2'')$, von welcher Fig. 322 als Beispiel die Stirnräderkette $(C_z^+ C_2'')$ vorführt. Der Bau

Fig. 322.



des Steges c wurde bei den Lagerstühlen, siehe §. 112, erledigt. Die Maschinenbaukunde lehrt sowohl die Bildung des höheren Paares (R_z) als den Bau der Glieder $R_z \ldots | \ldots C$. Wird ein Zahnrad mit einer Kette gepaart, siehe Fig. 323, so entsteht das Paar $R_z, T_z^{\pm}$. Eine passende Vereinigung solcher Paare liefert den Kettentrieb.

Fig. 323.



§. 116.

Schwungräder.

Die kinematische Bedeutung der Schwungräder haben wir bereits bei einer früheren Gelegenheit, §. 45, erörtert. Sie sind drehkörperförmig angeordnete Massen, welche auf Gliedern von der

Form $C^+ \ldots | \ldots C^+$ angebracht werden, um beim Gange vermöge ihrer lebendigen Kraft die Ueberschreitung der Todpunkte in Mechanismen zu bewirken oder auch nur deren Bewegung gleichförmiger zu machen. Eine besondere symbolische Bezeichnung als Kettenglieder oder Elemente bekommen die Schwungräder nicht, da unsere Zeichensprache über die Massenhaftigkeit der Theile keinen Aufschluss gibt.

§. 117.

Hebel, Kurbeln, Pleuelstangen.

Die Maschinenbaukunde unterscheidet einfache und zusammengesetzte Hebel. Dieselben sind Kettenglieder, welche mit Zapfen versehen sind und eine schwingende Bewegung vollziehen. Der gewöhnliche einfache Hebel entspricht seiner Anordnung und Anwendung nach der „Schwinge“ $c = C^+ \ldots \| \ldots C^+$ in der Kette (C_4''). Der zusammengesetzte Hebel ist ein aus einfachen Hebeln zusammengesetztes Kettenglied, z. B. ein solches von der Form

$$C^+ \ldots \begin{cases} \cdot \| \ldots C^+ \\ \cdot \| \ldots C^+ \end{cases}$$

Die Kurbel ist ein Glied von der Form $C^+ \ldots \| \ldots C^+$, welches zu vollständigen Drehungen um einen seiner Zapfen bestimmt ist, entspricht also nach Anordnung und Anwendung dem Gliede *a* in der Kette (C_4'') oder $(C_3''P^\perp)$ u. s. w. Die Pleuelstange endlich ist ebenfalls ein aus zwei Cylinderelementen gebildetes Glied, meist in der Form $C^- \ldots \| \ldots C^-$ hergestellt. Sie entspricht der „Koppel“ *b* in dem Getriebe $(C_4'')^d$ oder $(C_3''P^\perp)^d$. Der kinematischen Form nach unterscheidet sie sich nicht von dem Lagerstuhl Fig. 310 in §. 112.

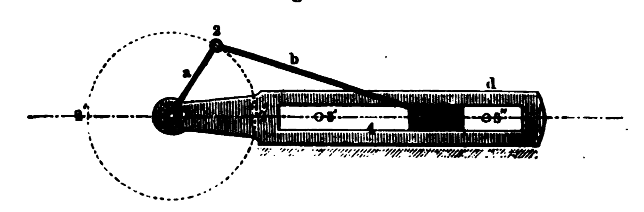
Wir haben somit hier eine ganze Reihe zwar konstruktiv verschiedener, aber einzeln genommen kinematisch ganz gleicher Kettenglieder vor uns, welche nur durch ihre verschiedene Lage in der Kette eine verschiedene Bedeutung annehmen. Die zusammengesetzten Hebel ihrerseits sind gleichbedeutend mit denjenigen zusammengesetzten Lagerstühlen, §. 112, mit denen sie gleiche gegenseitige Lage der Elemente *C* haben.

§. 118.

Querhäupter und Führungsgleise.

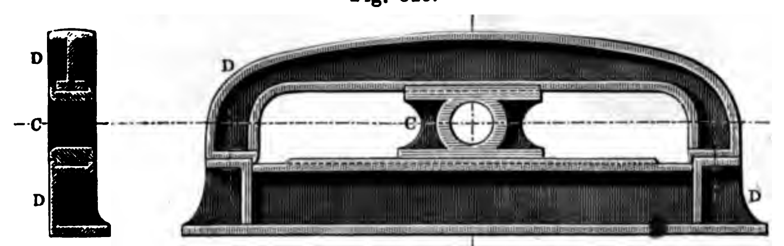
Das gewöhnliche Querhaupt, auch Kreuzkopf genannt, ist nichts anderes als das Glied *c* der Kette $(C_3''P^{\perp})$, von uns insbesondere dort „Schieber“ betitelt. Es hat die Formel $C \ldots \perp \ldots P$. Zu ihm gehört das Führungsgleis in mancherlei Ausführungs-Formen. Es ist das dem Stege *d* des Getriebes $(C_3''P^{\perp})^d$ angehörige Prisma 4, Fig. 324, meistens in der Form P^{-}, manchmal jedoch auch in der

Fig. 324.



Form P^{+} ausgeführt. Fig. 325 zeigt in dem rahmenförmigen Körper *D* dieses Prisma, in dem Stücke *C* das zugehörige Querhaupt,

Fig. 325.



d. i. den Schieber *c* aus Fig. 324. Das Querhaupt hat in der Maschinenpraxis historisch eine ungewöhnlich grosse Reihe von Formen durchlaufen, welche den Stempel mühsamen Studiums an sich tragen. Die theoretisch so einfach scheinende Aufgabe, eine geradlinige Bewegung in einem gegebenen Getriebe zu sichern, hat sich ungemein lange der praktischen Lösung widersetzt (vergl. Schluss von §. 3). Im Ganzen sind nach alle diesem die Kurbel, die Pleuelstange, das Querhaupt, das Führungsgleis (wenn man zu letzterem noch das Lager der Kurbelachse hinzufügt) und der Hebel die Glieder der Kurbelgetriebe $(C_3''P^{\perp})^d$ und $(C_4'')^d$.

§. 119.

Sperrräder und Sperrwerke.

Die Sperrräder werden nicht regelmässig zu den allgemeinen Maschinentheilen gezählt. Gewöhnlich rechnet man sie zu den besonderen Maschinentheilen, vorzugsweise denjenigen der Aufzugmaschinen. In der That haben sie aber einen weit allgemeineren Karakter. Ihre genauere Behandlung führt zu sehr verwickelten und vielgestaltigen Problemen, ein Umstand, aus welchem sich die geringe Neigung, sie zu den „einfachen" Maschinentheilen zu zählen, erklärt. Wir müssen, ohne indessen erschöpfend verfahren zu dürfen, auf einige wesentliche Fälle hier eingehen.

Unter den mancherlei Formen, in welchen die Sperrwerke zur Ausführung kommen, ist die gebräuchlichste diejenige des Zahnrades mit Sperrklinke oder Sperrkegel, Fig. 326 u. 327. Das

Fig. 326.



Fig. 327.



Getriebe besteht beidemal aus drei Gliedern, nämlich dem Rade $a = C..|..:.C_z$, der Sperrklinke $b = Z...||..C$, und dem Stege $c = C...||.\bullet C$, welches letztere Glied wir als festgestellt annehmen wollen. Der Zahn Z legt sich, wie schon früher (§. 43) besprochen wurde, kraftschlüssig in die Zahnlücken des Rades a hinein, indem die Klinke b durch die Schwere oder eine Feder angedrückt wird. Ausserdem ist hervorzuheben, dass b nur bei der einen Drehrichtung des Rades — in Fig. 326 ist es die Linksdrehung, in Fig. 327 die Rechtsdrehung — mit a kinematisch gepaart ist, bei Drehung in der anderen Richtung aber nach ganz kleinem Spiele das Rad festhält, also dann mit ihm und dem Stege c gleichsam in ein Stück übergeht.

Der Unterschied zwischen den beiden dargestellten Getrieben scheint zunächst nur ein konstruktiver zu sein, indem im ersten

Falle der Sperrkegel auf Druck, im zweiten auf Zug beansprucht ist. Die nähere Vergleichung der eingetragenen Richtungspfeile zeigt aber, dass im ersteren Falle, wenn das Rad rückläufig bewegt wird, Klinke und Rad entgegengesetzten Drehungssinn, im zweiten dagegen gleichen Drehungssinn haben. Hiernach besteht zwischen Druckklinke und Rad das Verhältniss aussenverzahnter Räder, zwischen Zugklinke und Rad dasjenige des Hohlrades zum eingreifenden Vollrade. Wir haben demnach den Zahn der Druckklinke mit Z^+, den der Zugklinke mit Z^- zu bezeichnen.

Eine zweite durch die Zeichensprache wiederzugebende Eigenschaft ist die einseitige Gangbarkeit des Sperrrades. Wir wollen dieselbe dadurch andeuten, dass wir als Paarungszeichen statt des blossen Kommas ein Semikolon zwischen C_z und Z setzen. Unter Andeutung des Kraftschlusses des Zahnes Z heisst nun das Paar $C_z;\frac{Z^+}{f}$ oder $C_z;\frac{Z^-}{f}$. Der Punkt macht die Unbeweglichkeit der Kette in der einen Bewegungsrichtung, das Komma die Gangbarkeit in der anderen Richtung deutlich.

Bei Stellung der Kette auf c lautet nunmehr die ausführliche Formel:

$$\overbrace{C^+ \ldots \| \ldots C_z}^{a};\overbrace{Z \ldots \| \ldots C^{\pm}_{=}}^{b}\overbrace{\underline{C^- \ldots \| \ldots C^-_{=}}}^{c}$$

Hierbei ist, um den Ausdruck allgemein zu lassen, das Formzeichen bei Z nicht zugefügt. Auch ist das Kraftschlusszeichen daselbst weggelassen; dasselbe kann in der That für gewöhnlich entbehrt werden, da das Semikolon schon auf die Aussergewöhnlichkeit des Paares hindeutet. Ja, dieser letztere Umstand ermöglicht uns sogar, das Paar $C_z;Z$ in konzentrirter Form mit nur einem Elementenzeichen zu schreiben, da wir mit ausreichender Deutlichkeit setzen können: $C_z;Z = (C_z;)$. Diese abgekürzte Schreibung ist auch im Hinblick auf das Zeichen (C_z) des Stirnräderpaares C_z,C_z logisch gerechtfertigt, indem die Klinke $C \ldots \| \ldots Z$ thatsächlich als eine Art von Ausschnitt aus einem Stirnrade angesehen werden kann.

Hiernach heisst das Stangengesperre mit festgestelltem Stege Fig. 328 (a. f. S.) bei ausführlicher Schreibung:

$$\overbrace{P^+ \ldots \| \ldots P_z}^{a};\overbrace{Z^+ \ldots \| \ldots C^{\pm}_{=}}^{b}\overbrace{\underline{C^- \ldots \perp \ldots P^-_{=}}}^{c}$$

und bei konzentrirter: $(CPP_z;)^c$ u. s. w.

Neben der betrachteten Gattung von Gesperren gibt es eine zweite, welche sich von ihr wesentlich unterscheidet. Fig. 329 gibt von derselben ein Beispiel. Hier haben wir zunächst wie oben Zahnrad, Sperrklinke und Steg vor uns; allein die Klinke greift hier auf solche Weise in das Rad, dass der Zahn das Rad in allen beiden Drehrichtungen sperrt. Die Klinke *b* ist so zu sagen eine Vereinigung derjenigen in Fig. 326 mit derjenigen in Fig. 327, indem sie der einen Drehung als Druckklinke, der anderen als Zugklinke widersteht. Während demnach das obige ein einseitig wirkendes Gesperre war, ist das vorliegende ein zweiseitig wirkendes. Jenes kann man wegen der Beweglichkeit des Sperrkegels beim Rücklauf des Rades ein laufendes, dieses dagegen ein ruhendes Gesperre nennen. Das ruhende Gesperre findet u. a. Anwendung in dem sogenannten deutschen Schlagwerke für Wand- und Thurmuhren.

Fig. 328.

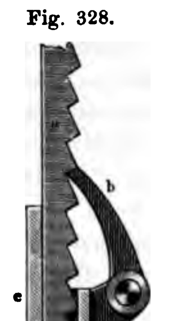
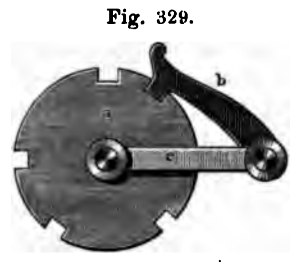


Fig. 329.

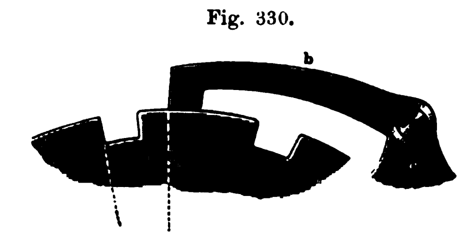


Hinsichtlich des symbolischen Ausdruckes für die zweiseitig wirkende Sperrung sind wir in die Nothwendigkeit versetzt, abermals ein neues Beziehungszeichen einzuführen. Zunächst kann der Zahn wegen seiner beiderseitigen Wirkung mit $Z^{\pm}$ bezeichnet werden. Sodann lässt sich sehr gut im Anschluss an die obige Wahl des Semikolons hier der Doppelpunkt benutzen. Wir wollen das aus dem Zahnrade und der zweiseitig sperrenden Klinke bestehende Elementenpaar durch $C_z{:}Z^{\pm}$ bezeichnen und in der konzentrirten Form durch das Symbol $(C_z{:})$ darstellen. Hiernach heisst denn das ruhende Gesperre Fig. 329 $(C_2''C_z{:})^c$.

Von dem laufenden Gesperre $(C_2''C_z;)^c$ ist das ruhende Gesperre $(C_2''C_z{:})^c$ sehr verschieden. Bei dem ersteren kann man das Rad *a* im Sinne des Rücklaufes unbehindert drehen; die Klinke wird dabei selbstthätig gehoben und durch den Kraftschluss wieder gesenkt. Will man die umgekehrte Drehung bewirken oder geschehen lassen, so muss durch besondere Mittel die Klinke

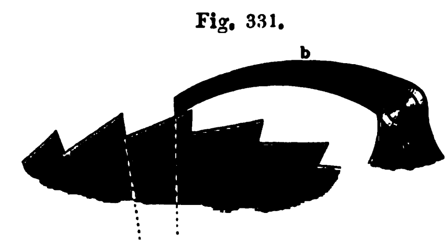
b vorerst aus dem Eingriff entfernt, ausgehoben, das Gesperre „ausgelöst" werden. Bei $(C_2''C_1:)^c$ dagegen kann keine der beiden Drehungen ohne vorherige Auslösung des Gesperres stattfinden. Ist eine solche Auslösung bei einem ruhenden Gesperre geschehen und darauf die Sperrklinke nach Einleitung der Drehbewegung wieder der Schlusskraft überlassen, Fig. 330, so dauert die Drehung nur so lange fort, bis die nächste Zahnlücke dem Klinkenzahn gegenübertritt. In diesem Augenblick schliesst sich die Sperrung wieder, und Rad, Klinke und Steg wirken wiederum wie ein einziges Stück.

Fig. 330.



Beim laufenden Gesperre, Fig. 331, legt sich unter gleichen Umständen die Klinke allmählich und schon vor dem Schliessungsmomente in die Zahnlücke, da die Form der Zähne dies mit sich bringt. Sie vermag deshalb mit grosser Sicherheit das Auffangen der Radzähne zu bewirken.

Fig. 331.



Wird nach dem Auslösen eines belasteten Gesperres, d. h. eines solchen, dessen Sperrstück *a* durch die Triebkraft vorwärts gedrängt wird, die Sperrklinke nicht sofort der Schlusskraft überlassen, so bewegt sich das Sperrstück *a* alsbald weiter vorwärts, und zwar um so rascher, je grösser die Belastung war. Diese Bewegung im Gesperre möge dessen Rücklauf genannt werden. Derselbe kann dazu dienen, die Wirkung einer aufgespeicherten mechanischen Arbeit in einem gegebenen Augenblick zur Wirkung gelangen zu lassen. Man kann ein in solcher Weise benutztes Gesperre ein Spannwerk nennen. Solche sind in mancherlei Formen im Gebrauch. Ein ungemein verbreitetes ist das im Flintenschloss benutzte. In diesem sind die beiden „Rasten" der Nuss die Sperrzähne des Sperrstückes; der „Drücker" vermittelt die Auslösung der Klinke aus der „Spannrast". Schon bei den Armbrüsten des Mittelalters und bei den Katapulten und Ballisten des Alterthums war das Spannwerk als Getriebe zur plötzlichen Verwerthung aufgespeicherter Kraft benutzt (§. 48). Auch in wichtigen modernen

Maschinen leistet dasselbe vorzügliche Dienste, so u. a. im Selbstspinner, wo sowohl laufende als ruhende Gesperre mehrfach zu Spannwerken benutzt sind, namentlich um im richtigen Augenblick die erforderlichen Bewegungswechsel einzuleiten.

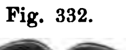
§. 120.

Der Rückgang im laufenden Gesperre.

Die Anwendungen der beiden Gesperrarten sind, wie die vorstehenden Beispiele zeigen, äusserst mannigfach und wichtig, viel wichtiger, als es auf den ersten Anblick scheinen mochte. Es war deshalb unerlässlich, etwas näher auf die daraus gebildeten Mechanismen einzugehen. Aus mehreren Benutzungen derselben lassen sich wesentliche Aufschlüsse über einzelne Maschinendetails gewinnen. Dies nöthigt uns, den Rahmen der baulichen Maschinenelemente noch um ein Kleines weiter zu überschreiten, als bereits geschehen ist.

Halten wir fest, dass die Gesperre sowohl rechtläufig als rückläufig gebraucht werden, so müssen wir zunächst einen besonderen Theil der Bewegung im Getriebe, den Rückgang des Sperrstückes und die dabei erzeugte Bewegung der Sperrklinke einer kurzen Untersuchung unterwerfen.

Wenn das Sperrstück a ein Rad ist, so ertheilt dessen rückgängige Achsendrehung der Klinke $C\ldots\|\ldots Z$ ebenfalls eine Achsendrehung, welche ihrem Gesetze nach von der besonderen Form des Zahnrückens abhängt. Thatsächlich ist der Zahnrücken ein Stück einer im allgemeinen nach einer beliebigen Kurve profilirten Scheibe a, Fig. 332, welche, wenn sie einen stetig profilirten Umfang hat, eine Schwingung der Klinke um ihre Drehachse hervorruft. Hat die Klinke einen unendlich grossen Halbmesser, so geht sie in einen Schieber b, Fig. 333, über, welcher, unter Beibehaltung der Voraussetzung des Kraftschlusses, durch die Kurvenscheibe a etwa senkrecht auf- und niederbewegt wird. Auch in diesem Falle haben wir, wie oben, eine dreigliedrige Kette vor uns; ihre Formel lautet:

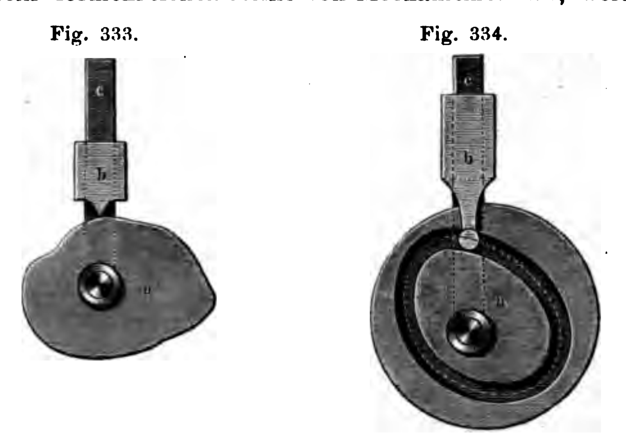

Fig. 332.



$$\overbrace{C^{+}\ldots\|\ldots\tilde{C},}^{a}\overbrace{\frac{Z}{f}\ldots\perp\ldots P_{=}^{\pm}}^{b}\overbrace{P^{-}\ldots\perp\ldots C_{=}^{-}}^{c}$$

Das bei Feststellung von *c* daraus gebildete Getriebe gehört einer sehr formenreichen Reihe von Mechanismen an, welche als

Fig. 333. Fig. 334.



Kurvenschubgetriebe bezeichnet werden dürfen. Es gibt verschiedene Methoden, den Kraftschluss bei *Z* durch Paarschluss zu ersetzen. Eines der Mittel ist u. a. das, an dem die Kurve berührenden Ende des Schiebers oder der Klinke ein cylindrisch profilirtes Element anzubringen, dessen Umfang eine Aequidistante des genannten Endpunktes ist, und dasselbe in einer Rinne der Scheibe *a* gleiten zu lassen, welche ihrerseits in ihren Profilen ein Aequidistantenpaar der Urkurve vorstellt, Fig. 334 (vergl. §. 35). Hiernach ist die Kraftschlüssigkeit der Klinke oder des Schiebers *b* nicht wesentliche Grundeigenschaft des Kurvengetriebes, sondern eine von ihm trennbare zufällige Eigenschaft. Wir waren demnach auch durch innere Gründe zu der im vorigen Paragraphen beschlossenen gelegentlichen Weglassung des Kraftschlusszeichens berechtigt. Hier dürfen wir der ganzen Frage zunächst nicht weiter nachgehen; sie führt in ein ausgedehntes Gebiet der angewandten Kinematik. Nur soviel ist hier festgestellt, dass das Sperrrad mit seinem zackigen Umfangsprofil in aller Strenge den Kurvenschubgetrieben angehört, welche ihrerseits unter gewissen Umständen in die Zahnrädergetriebe übergehen. Wenden wir uns aber nunmehr zu einigen zusammengesetzten Mechanismen, welche aus den Sperrungsgetrieben gebildet sind.

§. 121.

Schaltungen.

Die Schaltungen oder Schaltwerke spielen in ihren gewöhnlichen Formen eine scheinbar ziemlich untergeordnete Rolle im Maschinenwesen; sie werden zwar viel gebraucht, aber man möchte sagen, nicht recht für voll angesehen, wozu ihre kraftschlüssige Bewegungsweise Veranlassung geben mag. Nichtsdestoweniger verdienen sie die grösste Beachtung, wie ich weiter unten nachweisen werde, weshalb wir uns ihre Haupteigenschaften klar machen müssen.

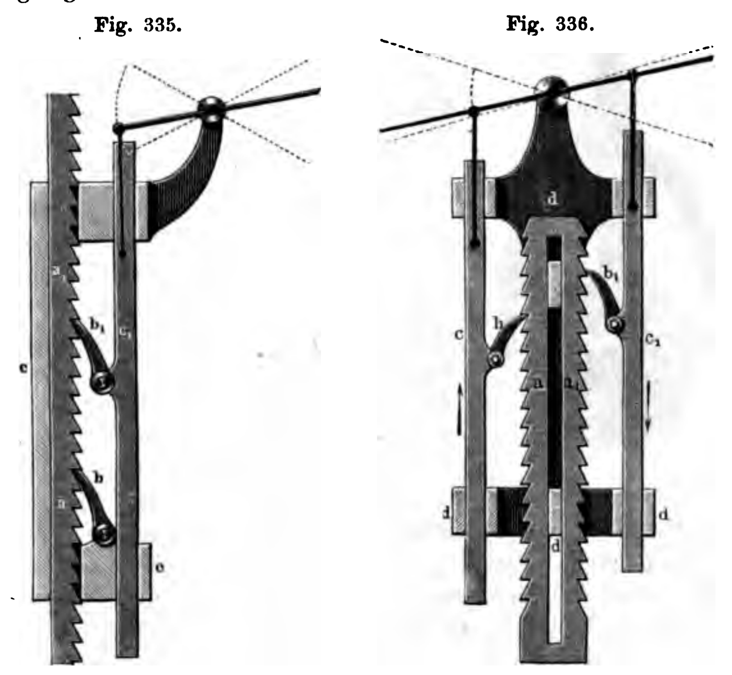
Wenn die Betreibung eines Maschinenorganes zwar fortschreitend, aber nicht stetig, sondern in periodisch absetzender Weise geschieht, so wird sie Schaltung genannt. Der Mechanismus zur Hervorrufung einer Schaltbewegung heisst insbesondere Schaltwerk. Ein solches wiederholt periodisch seine fortbewegende Thätigkeit und erfordert deshalb, dass in den grössern oder geringern Zwischenpausen das zu schaltende Kettenglied am Rückgang verhindert werde, was in sehr vielen Fällen durch ein Gesperre geschieht. Ein vollständiges Schaltgetriebe, auch kurzweg wie die ihm eigenthümliche Bewegung selbst eine Schaltung genannt, setzt sich daher sehr häufig, obwohl nicht immer, aus einem Schaltwerk und einem Sperrwerk zusammen.

Ein häufig vorkommendes Schaltgetriebe ist das in Fig. 335 skizzirte, welches zum Aufwärtsbewegen einer Stange $a\,a_1$ dient. Als Gesperre wirkt das aus dem vorigen Paragraphen bekannte Stangengesperre $(CPP_z;)^c$, als Schaltwerk ein ganz ähnlich zusammengesetztes aber auf a gestelltes Getriebe, dessen Zahnstange a_1 mit derjenigen des Sperrwerkes zusammenfallend hergestellt ist, und welches relativ gegen den ruhenden Steg c bewegt wird. Beim Abwärtsbewegen von c_1 ruht die Stange $a\,a_1$ in dem Gesperre, während die Schaltklinke b_1 eine Anzahl von Zähnen überhüpft; beim Aufwärtsbewegen dagegen wirken b_1, c_1 und a_1 wie ein einziges Stück, während b der Zahnstange die Fortschreitung gestattet.

Gibt man jedem der beiden Stücke c und c_1 unter Erhaltung ihres relativen Spieles die Hälfte dieses letzteren als absolute Bewegung, so entsteht die doppeltwirkende Schaltung, welche

Fig. 336 darstellt. Hier sind die zu einem Körper verbundenen Zahnstangen a und a_1 zunächst nebeneinander anstatt ineinander gelegt und sodann durch eine besondere ruhende Prismen-

Fig. 335. Fig. 336.



führung gerade geleitet. Die beiden Klinkenschieber c und c_1 werden mittelst Koppeln von einem gleicharmigen Hebel aus in der oben verlangten Weise bewegt. (In der Maschinenpraxis, wo die doppeltwirkende Stangenschaltung nicht selten ist, setzt man wohl die Klinken unmittelbar auf den Doppelhebel, wodurch sowohl die Koppeln, als die Schieber c und c_1 überflüssig werden.) Ein Sperrwerk ist nun nicht vorhanden; die beiden Schaltwerke lösen sich vielmehr in ihrer Thätigkeit gegenseitig ab. Zu bemerken ist, dass die beiden Klinken, trotzdem sie nur die Hälfte des Hubes der obigen Schaltklinke c_1 haben, bei ihrem jedesmaligen Rückgange dieselbe Weglänge auf der Zahnstange zurücklegen, wie oben bei dem einfachen Schaltwerke, wenn dieses denselben Gesammthub in jeder Periode hat.

Eine andere doppeltwirkende Schaltung ist die in Fig. 337 (a. f. S.) dargestellte von Lagarousse. Hier werden eine Zug- und Druckklinke von einem und demselben Schieber aus bewegt und

wechseln in ihrer Wirkung auf das Schaltrad *a* ab. Je eine derselben bewegt bei jedem einfachen Spiel des Schiebers *c* den Radumfang um eine gewisse Zahl von Zahntheilungen vorwärts, während eine doppelt so grosse Zahl von Theilungen durch die andere Klinke überhüpft wird. Diese Eigenschaft verdient beachtet zu werden, indem wir weiter unten auf dieselbe zurückkommen müssen.

Fig. 337.



Wie wir bemerken, sind die laufenden Gesperre sehr gut zur Bildung von Schaltungen zu verwenden. Ganz dasselbe gilt hinsichtlich einer bemerkenswerthen besonderen Unterabtheilung der Schaltgetriebe, der sogenannten Hemmungen der Uhrwerke. Diese beruhen im allgemeinen auf dem im vorigen Paragraphen besprochenen Auslösen und Wiedereinlegen des Gesperres eines Sperrrades, welches durch die Betriebskraft stets vorwärts gedrängt wird. Indem das Loslassen und Auffangen in möglichst gleich gross gemachten Zeitabschnitten bewirkt wird, regelt die Hemmung den Gang des Uhrwerkes dergestalt, dass dessen Räder in gleichen angebbaren Zeiten gleich grosse endliche Winkel durchlaufen.

Als Beispiel sei die so sehr verbreitete Graham'sche Ankerhemmung für Pendeluhren angeführt, siehe Fig. 338. Bei ihr sind zwei verbundene laufende Gesperre angewandt, und zwar so, dass die beiden Klinken b und b_1, eine Zug- und eine Druckklinke, zu einem festen Gliede vereinigt erscheinen. Das Uhrpendel bewirkt die regelmässige Auslösung und Einrückung des Klinkenpaares, hier Anker genannt. Wenn die Klinke b ausgeschoben wird, tritt b_1 in eine Zahnlücke hinein, und fängt alsbald das von der Triebkraft vorwärts getriebene Sperrrad, hier Steigrad genannt, auf. Beim Rückwärtsschwingen des Ankers wird b_1 ausgehoben und das Steigrad durch b aufgefangen. Jeder Sprung des Steigrades umfasst eine halbe Zahntheilung. Es ist eine Nebeneinrichtung der Uhr, dass der Radzahn alsbald, nachdem er von der Klinke losgelassen ist, vermöge des Vorbeischlüpfens an den sogenannten Hebeflächen den Anker noch etwas nach aussen drängt, und dadurch dem Pendel ein kleines Maass von Beschleunigung mittheilt; mit

der Hemmung selbst hängt diese Einrichtung nicht nothwendig zusammen und fehlt auch bei manchen, namentlich neueren Hemmungsvorrichtungen. Bei gewissen sehr fein konstruirten Hemmungen, wie den sogenannten Chronometerhemmungen, ist nur ein einziger Sperrkegel angewandt, welcher bei jeder Doppelschwingung des Pendels einmal ausgelöst wird und alsbald wieder in die Zahnlücke tritt, um den herankommenden nächsten Steigradzahn aufzufangen. Dasselbe gilt von der mit ausserordentlicher Geschwindigkeit wirkenden Hemmung, welche bei dem Wheatstone'schen, durch Hipp verbesserten Chronoskop angewandt ist, Fig. 339. Hier ist die Sperrklinke eine Feder, welche dadurch aus- und eingelegt wird, dass man sie veranlasst, in Schwingung zu gerathen. Sie ist so abgepasst, dass sie in der Sekunde 1000 Doppelschwingungen vollzieht. Bei jeder derselben lässt sie einen Zahn des Steigrades durchschlüpfen, um alsbald den nächstfolgenden wieder aufzufangen. Wir sehen somit bei den delikatesten Maschinen, welche man gebaut hat, eine Eigenschaft des Zahngesperres erfolgreich angewandt, welche auf den ersten Blick beinahe plump und für machinale Genauigkeit nichts weniger als geeignet erscheint.

Fig. 338.

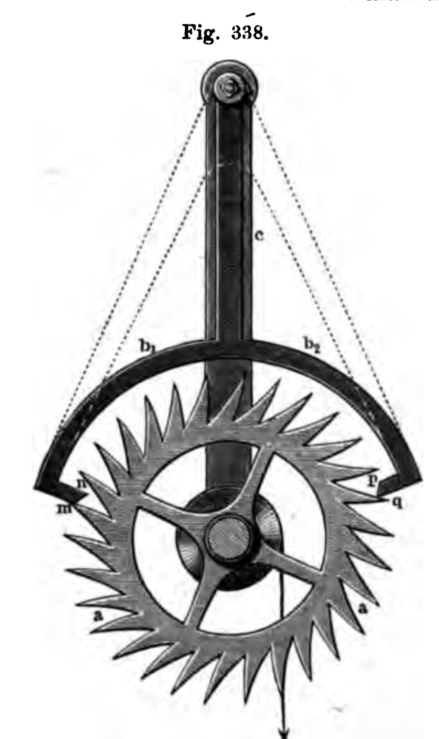
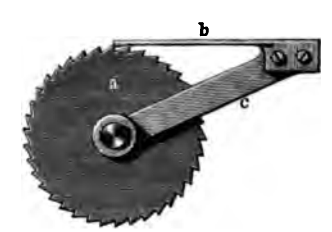


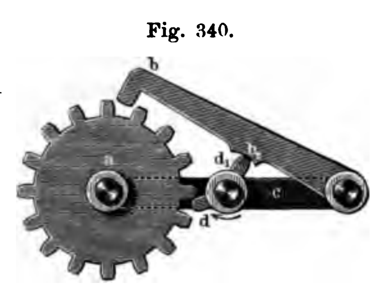
Fig. 339.



Ein Beispiel einer Schaltung mit ruhendem Gesperre gibt Fig. 340 (a. f. S.). Soll das Rad *a* geschaltet werden, so muss nothwendig vorerst die Sperrklinke *b* ausgehoben, d. h. die Sperrung

gelöst werden. Dies geschieht durch einen Zahn d_1, welcher mit dem rotirenden Schaltzahne d verbunden ist, und die Klinke, bei b_1 angreifend, aushebt. Während dieses stattfindet, tritt der Schaltzahn d in eine Zahnlücke des Rades a hinein und treibt darauf dieses um eine Zahntheilung vorwärts. Beim Schlusse dieser Vorschiebung aber sinkt die Klinke wieder nieder, indem der Zahn d_1 den Vorsprung b_1 wieder verlässt. Demzufolge ist alsbald nach stattgehabter Schaltbewegung auch die Sperrung wieder geschlossen. Die Drehung des Schalters dd_1 kann vor- oder rückwärts vorgenommen, das Rad also vor- oder rückwärts geschaltet werden.

Fig. 340.



Wählt man den Halbmesser des Rades a unendlich gross, so geht dasselbe nach uns bekannter Weise (vergleiche §. 69 und 71) in eine prismatische Stange über. Diese ist dann, nachdem auch der Schalter dd_1 entsprechend umgeformt ist, eine vor- und rückwärts schaltbare Sperrstange mit ruhendem Gesperre.

Ohne hier auf andere Arten von Schaltungen mit derartigem Gesperre einzugehen, will ich nur auf eine Anwendung des soeben beschriebenen Getriebes kurz hinweisen, welche von ganz ausserordentlicher Häufigkeit ist. Es handelt sich nämlich um nichts anderes, als die gewöhnlichen Schlösser für Thüren, Schränke u. s. w., einfache wie verwickelte, ganz schlichte Schlossereierzeugnisse, wie sogenannte Kunstschlösser, an welchen der mittelst des Schlüssels bewegte Riegel einem Schaltwerke der zuletzt besprochenen Art angehört.

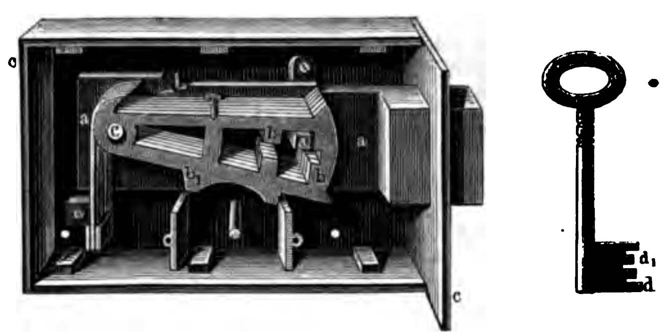
Zunächst ist der gewöhnliche, vermittelst des Drückers bewegte Thürverschluss an sich schon ein Gesperre nach unserer früheren Definition, und zwar ein laufendes Gesperre. Sowohl die sogenannte Schiessfalle, als die einfache Thürklinke bildet mit Schliesskasten, Thürgesponst und Thür ein Gesperre, welches zu der bei Fig. 326 und 327 besprochenen Gattung gehört. Es findet nur insofern eine Abweichung statt, als nach Einschiessung der Falle oder Klinke die weitere Achsendrehung der Thür durch die Schlagleiste verhindert wird, so dass also nach dem Zumachen der Thür das laufende Gesperre in ein ruhendes übergegangen ist.

Der vom Schlüssel bewegte eigentliche Schliessriegel ist fast immer eine Sperrstange a von der Form $P \ldots \| \ldots P_z$:, die sogenannte Zuhaltung ist die ruhende Sperrklinke b, bei Kunstschlössern der Sicherheit halber in mehreren Exemplaren angewandt; der Schlüssel ist der Schalter und Auslöser dd_1, der Schlosskasten der Steg c. Daneben bildet der Riegel a mit Thür und Schliesskasten wieder eine besondere, und zwar eine ruhende Sperrung. Bei den sogenannten mehrtourigen Schlössern, also denjenigen, bei welchen der Schliessriegel mit mehr als einer Schlüsseldrehung vorgeschoben wird, hat die Sperrstange a mehr als einen Schalt- und Sperrzahn. Um unbefugtem Bewegen des Riegels vorzubeugen, wird der Schalter und Auslöser — der Schlüssel — aus dem Schlosse entfernt. Manchmal ist der Schlüssel auch nur Auslöser der Sperrung, während ein anderweitiger Schalter — Knopf, Griff — zum Bewegen des Sperrstückes dient. Eine verwickelte Anordnung der Sperrklinken b und deren Auslösungsbogen b_1 soll jede Betreibung des Schaltwerkes mit einem anderen als dem Originalschlüssel unthunlich machen oder doch sehr erschweren.

Eine Betrachtung der nachstehenden Skizze eines Chubbschlosses, in welcher den entsprechenden Theilen unsere Buchstaben beigesetzt sind, wird diese Darlegung alsbald als richtig erkennen lassen, Fig. 341. Mit den bekannten Kunstschlössern von



Fig. 341.



Bramah, Hobbs, Yale u. a. hat es dieselbe Bewandtniss. Wir sehen also, dass die zur höchsten Verfeinerung getriebene Sicherheitsschlosserei, welche eine so grosse Zahl merkwürdiger und erfindungsreicher Erzeugnisse aufzuweisen vermag, streng im Geiste der kinematischen Wissenschaft gearbeitet hat, indem sie deren Gesetze mit der äussersten Genauigkeit befolgte.

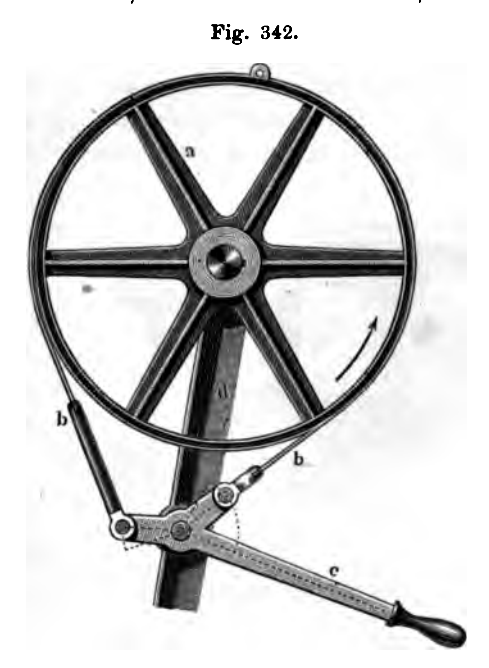
§. 122.

Bremsscheiben und Bremswerke.

Die Bremsscheiben sind Glieder kinematischer Ketten, vorzugsweise von der Form $C\ldots|\ldots R$, welche dazu dienen, vermöge der an ihrer Umfläche erzeugten Reibung eine Mässigung der Bewegung oder ein vollständiges Stillsetzen der mit ihnen verbundenen Kettenglieder zu bewirken. Die an ihre Umflächen angepressten Backen oder Gurte nebst den zugehörigen Mechanismen bilden mit der Scheibe zusammen ein Bremswerk. Auch geradlinig oder kurvenförmig fortschreitende Maschinenorgane werden mit Bremswerken versehen.

Eine bemerkenswerthe Seite bieten die Bremswerke in dem Umstande, dass die Bremsbacken, -Schuhe oder -Gurte mit dem Bremsstück, das ist der Scheibe, Stange u. s. f. vor Herbeiführung des Stillstandes ein kinematisches Elementenpaar bilden. Bei der Bremsscheibe ist es das Paar (R), bei der Stange oder Schiene das Paar (P) u. s. w. Das Bremsen, welches bis zur völligen Aufhebung der Bewegung getrieben wird, besteht demnach in der Aufhebung der Wirksamkeit eines Elementenpaares, und zwar findet die Aufhebung dadurch statt, dass die beiden Partner so miteinander verbunden werden, dass sie kinematisch ein einziges Stück bilden. Die Bremswerke wirken demnach unter Umständen ganz ähnlich wie Sperrwerke,

Fig. 342.



und werden gelegentlich auch geradezu Gesperre genannt. Sie unterscheiden sich aber dadurch von denselben, dass der Zusammenfassung zu einem Stück eine allmähliche Erschwerung der Paarbewegung vorangeht, deren Maximum eben die völlige Aufhebung der Paarbewegung ist.

Mit den Sperrwerken haben die Bremswerke auch noch die Aehnlichkeit, dass eine Gattung derselben in beiden Bewegungsrichtungen gleich gut wirkt, wie die ruhenden Gesperre, während eine andere Gattung, ähnlich den laufenden Gesperren, nur einseitig wirkt oder doch eine ungleiche Wirkung nach der einen und anderen Bewegungsrichtung ausübt, wie z. B. das Gurtgesperre in Fig. 342. Diese Aehnlichkeitspunkte bedürfen einer mehr allgemeinen Untersuchung, zu welcher wir im Folgenden Gelegenheit erhalten.

§. 123.

Die Aus- und Einrückungen.

Unter den bis hierher besprochenen Maschinenelementen sind mehrere, welche in der eigenthümlichen Weise vorgerichtet und gebraucht werden, dass sie jeweilig die Thätigkeit eines Theiles der Maschine aufzuheben und wieder herzustellen gestatten. Die betreffenden Einrichtungen werden Aus- und Einkehrungen oder Aus- und Einrückungen genannt. Es ist offenbar wichtig, sich eine bestimmte allgemeine Vorstellung von den Aenderungen, die damit jedesmal in der kinematischen Kette vor sich gehen, zu bilden, sowie sich über die dabei zur Wirkung kommenden Mittel völlig klar zu werden. Wir wollen die gebräuchlichen Methoden an Beispielen untersuchen.

Eine oft angewandte Methode ist diejenige, *die Elemente eines bestehenden Paares von einander zu trennen*, so dass ihre Paarung dadurch aufgehoben wird. Reibungsräder, welche nur wenig auseinander gerückt werden, Riementriebe, bei denen der Riemen durch Abrücken einer Spannrolle schlaff gemacht wird, Fig. 343 (a. f. S.), Stirnräder, welche entweder in der Richtung der Achsen oder in der Richtung der Radebenen ausser Eingriff gerückt werden, Fig. 344 und Fig. 345 — axiale und radiale Auskehrung —, auch der Riementrieb, bei welchem der Riemen von einer

oder beiden Scheiben abgeworfen wird, geben Beispiele hierzu. Nach Aufhebung der Paarungen kommt nothwendig das getriebene

Fig. 343. Fig. 344.

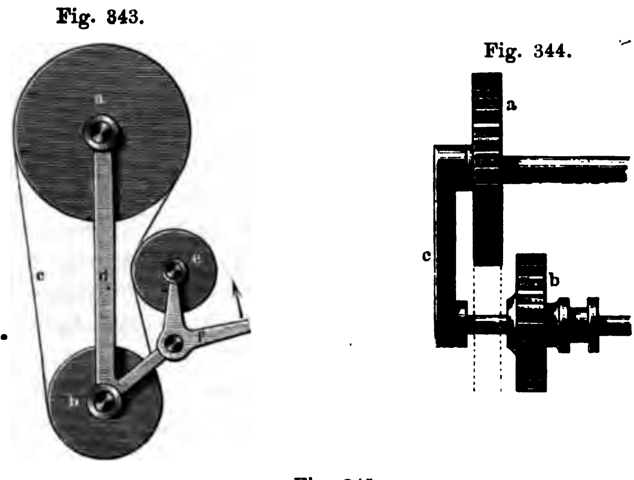
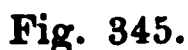
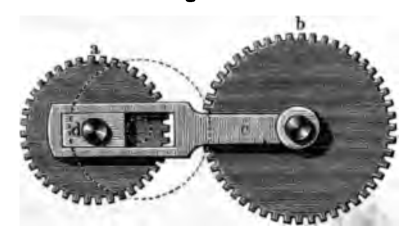


Fig. 345.

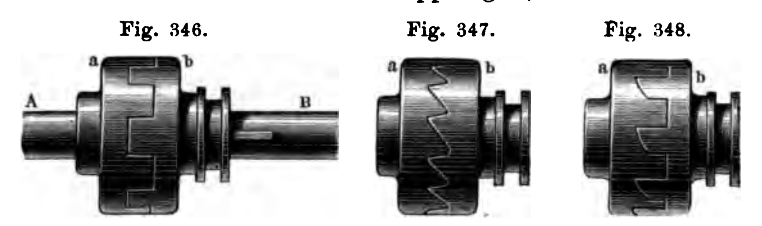




Kettenglied ausser Thätigkeit, wenn auch das treibende seine Bewegung noch beliebig fortsetzt. Die Einrückung besteht in der Wiedervereinigung der getrennten Elemente.

Eine andere Methode ist bei den Kupplungen in Anwendung. Betrachten wir zunächst die Zahnkupplungen, von denen die fol-

Fig. 346. Fig. 347. Fig. 348.



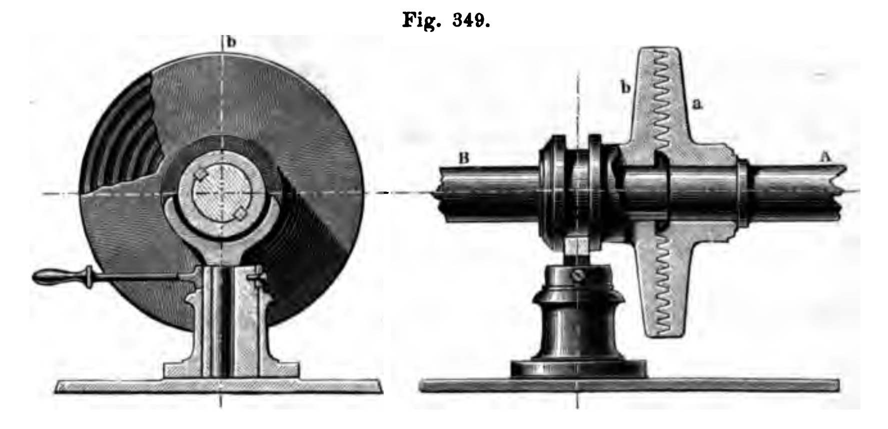
genden Figuren die drei wichtigsten Arten darstellen (Fig. 346, 347 und 348). Die Welle A nimmt mittelst des auf ihr befestigten

Stückes *a* die Welle *B* mit, wenn das auf dieser prismatisirte Stück *b* mit seinen Zähnen in die von *a* eingreift. Diese Zähne betreffend fällt auf, dass dieselben wie Gesperrzähne gestaltet sind. In der That bilden auch die Stücke *a* und *b* Theile eines Gesperres, und zwar im ersten Beispiel eines ruhenden, im zweiten eines laufenden Gesperres (siehe §. 119), im dritten eines solchen, welches bei halber Einrückung ein laufendes, bei ganzer Einrückung ein ruhendes Gesperre vorstellt. Im ganzen also sind die Zahnkupplungen Gesperre, welche, je nachdem die Bewegung des getriebenen Theiles abgebrochen oder wieder aufgenommen werden soll, ausgelöst und eingerückt werden, die aber zugleich sich dadurch von den oben betrachteten Gesperren unterscheiden, dass bei ihnen das ehemals ruhende Stück in Bewegung ist. Indessen sind die relativen Bewegungen im Getriebe genau die früheren.

Ganz ähnlich verhält es sich mit den sogenannten Kraftmaschinenkupplungen, z. B. der Pouyer'schen und der Uhlhorn'schen Kupplung; nur ist es hier das getriebene Stück, etwa *b* in Fig. 347, welches, indem es von einer zweiten Kraftquelle aus in Bewegung erhalten wird, selbstthätig seine Verbindung mit *a* aufhebt, indem die Zähne des Stückes *b* von denen an *a* abgleiten.

Bei den Reibungskupplungen, deren Fig. 349 eine darstellt, wird durch Anpressung des Stückes *b* an *a* mittelst des angedeu-

Fig. 349.



teten Stellzeuges eine solche Reibung zwischen den beiden Theilen erzeugt, dass die treibende Welle *A* die getriebene *B* mit herumführt. Das Nachlassen der Anpressung hebt die Kupplung wieder auf. Was wir hier, abgesehen von der Wirkung in der Kette, als

Mechanismus vor uns haben, ist nichts anderes als ein Bremswerk. Ganz dasselbe gilt von anderen Reibungskupplungen.

Wir sehen also zunächst, dass die Ein- und Ausrück-Kupplungen als Mechanismen an sich betrachtet, Sperrwerke oder Bremswerke sind, die indessen nicht ein bewegliches mit einem ruhenden, sondern ein bewegliches Stück mit einem anderen beweglichen verbinden. Sodann zeigt sich ihre Wirkung im Gesammtmechanismus insofern noch bemerkenswerth, als nach erfolgter Einrückung die gekuppelten Theile ganz wie ein einziges Stück, ein einziges kinematisches Organ wirken. Die obigen gekuppelten Wellen A und B bilden nach der Einrückung eine einzige Welle $C \ldots | \ldots C$, während die beiden Theile A und B vor der Einrückung jedes eine besondere Welle vorstellten. Die Einrückung hat also die Theile A und B zu einem Kettengliede vereinigt, die Ausrückung dagegen trennt die Theile oder Elemente dieses Kettengliedes wieder von einander. Hiernach besteht die Aus- und Einrückung der vorliegenden Methode in der Trennung, beziehungsweise Wiedervereinigung der Elemente eines Gliedes der kinematischen Kette.

Je nach der Art, wie die getrennten Theile des Kettengliedes während des ausgerückten Zustandes ferner bewegt oder untergebracht werden, lassen sich Unterabtheilungen des Verfahrens unterscheiden; dasselbe gilt auch von der zuerst betrachteten Methode. Das Eingehen auf diese Besonderheiten ist Sache der angewandten Kinematik; hier genügt die Feststellung der allgemeinen Fälle. Erwähnen will ich nur noch, dass die Sicherungen der Schrauben- und Keilverbindungen Gesperre der hier behandelten Art sind.

§. 124.

Zusammenfassung der Methoden der In- und Aussergangsetzung.

Wir haben soeben gesehen, dass die Ein- und Ausrückungen durch Einwirkung entweder auf die Paare oder auf die Glieder der kinematischen Kette stattfinden. Der Zweck ist jedesmal, einen Theil des Mechanismus zum Stillstand zu bringen, beziehungsweise wieder in Bewegung zu setzen. Beachten wir, dass

die Sperr- und Bremswerke ebenfalls häufig zu demselben Zwecke hinsichtlich des **ganzen** Mechanismus dienen, so zeigt es sich uns nützlich, die Methode der In- und Aussergangsetzung prinzipiell einmal zusammenzufassen.

Schon vorhin aber bemerkten wir, dass die Gesperre und die Bremswerke ebenfalls auf die Elementenpaare einwirken, und zwar derart, dass sie die Elemente eines Paares wie zu einem Körper vereinigen. Wir können eine solche Vereinigung der Partner eines Paares eine **übermässige Schliessung** des letzteren nennen, und sehen nun, dass die Aussergangsetzung eines Mechanismus oder eines Theiles eines solchen bewirkt wird:

a) durch übermässige Schliessung eines Elementenpaares der kinematischen Kette (Sperrwerke, Bremswerke);
b) durch Lösung eines Elementenpaares der kinematischen Kette (Auseinander-Rücken von Zahnrädern, Abwerfen des Treibriemens, Ausheben von Hebelgelenken u. s. w.);
c) durch Lösung eines Gliedes der kinematischen Kette (Ausrückkupplungen, Auslösung von Pumpenstangen durch Lösung einer Keilverbindung u. s. w.),

während die Ingangsetzung durch Wiederherstellung des normalen zwangläufigen Zustandes bewirkt oder eingeleitet wird. Da, wie sich weiter unten zeigen wird, diese Eintheilung auch für die Druckkraftorgane gültig ist, so erstreckt sie sich über das ganze in Betracht kommende Gebiet. In der That ist auch bei einer allgemeinen Prüfung der Möglichkeiten, eine kinematische Kette, ohne ihre Theile zu zerstören, unwirksam und wieder wirksam zu machen, ersichtlich, dass die vorgefundenen Verfahrungsweisen die Reihe der sich darbietenden Mittel erschöpfen.

§. 125.

Röhren-, Dampf- und Pumpencylinder, Kolben und Stopfbüchsen.

Die Röhren sind, wie wir bereits aus §. 41 wissen, die unentbehrlichen Partner-Elemente zu den Druckkraftorganen; ihre Verbindungskonstruktionen dienen zur Bildung der Glieder der kinematischen Kette, in welche sie eintreten. In den Dampf- und Pumpencylindern haben wir Kapseln V^{-} für die Druckkraftorgane,

also einzelne Elemente vor uns, zu welchen die Kolben die Partner V^+ darbieten. Die Stopfbüchsen und Kolbenstangen bilden theils ebenfalls Elementenpaare mit Druckkraftorganen, theils treten sie auch als blosse Prismenpaare $P^{\pm}P^{-}$ auf. Man sieht, dass in den Röhren die nothwendigen, in den vier anderen Maschinentheilen die meist gebräuchlichen Gefässkonstruktionen für Druckkraftorgane, theils in der Form von einzelnen Elementen, theils in derjenigen von Gliedern der kinematischen Kette vorliegen. Grundsätzlich würden sich denselben die Kapseln für rotirende Pumpen und Dampfmaschinen, die Gerinne der Wasserräder, die Gehäuse der Turbinen u. s. w. anschliessen.

§. 126.

Ventile.

Die Ventile scheinen sich der kinematischen Definition am hartnäckigsten zu entziehen. Der Mannigfaltigkeit ihrer Formen nach scheinen sie unter eine ganze Reihe von Fällen zu passen und doch auch wieder nicht ganz denselben anzugehören. Da sind die Klappen, die Rundventile, die kolbenartigen Ventile, die Hähne, die Drehschieber, und zwar konische, flache und cylindrische, die geradlinig bewegten Schieber der Dampfmaschine, die Entlastungsventile, sowohl zum Heben als zum Schieben eingerichtete, die selbstthätigen, die nicht selbstthätigen Ventile, da ist der Quetschhahn, die Drosselklappe, der Wasserradschützen, der Rollschützen für Wasserräder und Turbinen, das Schleusenthor u. s. w., alles Konstruktionen, welche als Ventile, nämlich zur zeitweisen Trennung von Gefässräumen dienen, und doch so vielfältig, auch kinematisch von einander verschieden sind, dass ihre Vereinigung unter einem gemeinsamen kinematischen Gesichtspunkt fast unausführbar erscheint. Auch ist bisher meines Wissens nirgends ein Versuch hierzu gemacht worden. Diese auffallende Erscheinung blieb wohl deshalb unbeachtet, weil die Flüssigkeitsmaschinen fast überall von der kinematischen Behandlung überhaupt ausgeschlossen wurden. Ich habe an einem anderen Orte *) eine systematische Eintheilung der Ventile nach konstruktiven

*) Konstruktionslehre für den Maschinenbau (1862) S. 846 ff., auch Konstrukteur, III. Aufl. S. 583.

Eigenschaften derselben versucht, welche immerhin einige Dienste leisten kann. Danach wären zu unterscheiden:

1) Gleitungsventile, und zwar
   a. Hähne und Drehschieber,
   b. geradlinig bewegte Schieber;
2) Hebungsventile, und zwar
   a. Klappen oder Gelenkventile,
   b. geradlinig gehobene Ventile.

Als prinzipiellen Unterschied hob ich hervor, dass die Gleitungsventile durch den Flüssigkeitsdruck nicht von der zu verschliessenden Oeffnung weg oder über dieselbe hingeführt werden, während dies mit den Hebungsventilen der Fall ist, indem dieselben durch die Flüssigkeit bei deren Strömung in der einen Richtung geöffnet, der anderen geschlossen werden. Diese eigneten sich deshalb als selbstthätige Ventile, wozu sich jene nicht eigneten.

Diese Eintheilung hat mancherlei für sich und geht einigermaassen in die Tiefe. Allein eigentlich erschöpfend ist sie doch nicht. Sie steht auf dem Standpunkt der Beobachtung von aussen, schreitet aber nicht bis zur Entwicklung von innen heraus vor. Selbst als Klassifikation ist sie nicht bis zu Ende durchführbar, da z. B. diejenigen Hebungsventile, welche als vollkommene Entlastungsventile gebaut sind, die letztangeführte Eigenschaft nicht besitzen. Ausserdem steht die Eintheilung auch insofern auf dem Boden der alten, beschreibenden Schule, als die ihr beigegebene Definition nicht eigentlich erklärend ist, vor allem den Ventilen nicht den ihnen zukommenden Platz in der Reihe der kinematischen Vorrichtungen zuweist. Hier, nachdem die kinematischen Anschauungen durch eine Reihe analytischer Anwendungen durchgeführt, also die prinzipiellen Grundlagen vorbereitet sind, ist es möglich, eine den Kern der Sache treffende Definition zu geben.

Sie ist die folgende: Die Ventilvorrichtungen sind die Gesperre und unter Umständen die Bremswerke der Druckkraftorgane.

Auch hier haben wir laufende und ruhende Gesperre zu unterscheiden. Laufende Gesperre, also solche, welche die Bewegung des Sperrstückes in der einen Richtung nicht hindern, sie in der anderen aber aufhalten, sind die oben erwähnten selbstthätigen Hebungsventile; ruhende Gesperre sind die Gleitungsventile und die letzterwähnten Entlastungsventile, welche durch fremde Einwirkung aus und in die Verschlussstellung gebracht werden müssen.

Die gewöhnliche Pumpenklappe, Fig. 351, entspricht dem laufenden Gesperre mit der gewöhnlichen Sperrklinke, Fig. 350. Die Ventilklappe *b* ist die Sperrklinke, welche das Sperrstück *a*, Wasser, verhindert, sich abwärts zu bewegen. Das Rohr *c*, welches auch das Gelenk für die Klappe *b* an sich trägt, entspricht dem Stege *c* des Stangengesperres. Es ist nebensächlich, dass bei der Lederklappe das Gelenk des Ventils aus einem biegsamen Körper, einem bildsamen Elemente, hergestellt ist; Klappen mit wirklichen Cylinderpaar-Gelenken sind ja ebenfalls üblich. Die Bildsamkeit des Druckkraftorganes lässt an dem Sperrstück oder zu sperrenden Wasserkörper *a* die Sperrzähne in Wegfall kommen. Der Hahnverschluss, Fig. 352, entspricht einem ruhenden Gesperre, z. B. dem in Fig. 329. Auch das Gesperre in Fig. 353, in der Thomas'schen Rechenmaschine vorkommend, bietet eine genaue Analogie zum Hahn. *a* ist das (im Kreise oder Kreisbogen laufende) Sperrstück, entsprechend dem Wasser in Fig. 352; *b* lässt, wenn um einen gewissen Winkel gedreht, *a* unbehindert sich fortbewegen, verhindert aber in der gezeichneten Stellung die Drehung des Rades *a* in beiden Bewegungsrichtungen. Der Steg *c*

Fig. 350. Fig. 351.

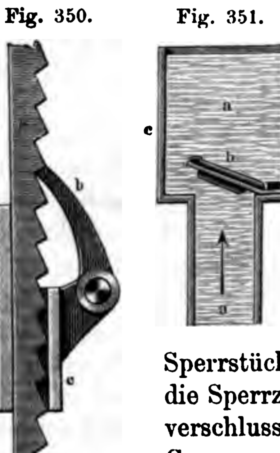


Fig. 352.

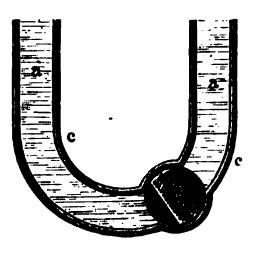
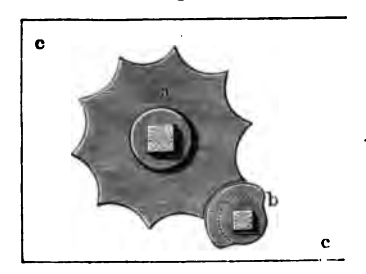


Fig. 353.



enthält zwei Elemente, das eine zur Führung von *a*, das andere zu der von *b*, ganz wie in Fig. 352. Der Schieber in Wasser- und Dampfleitungen, Fig. 355, entspricht dem ruhenden Gesperre in Fig. 354; *a* Sperrstück, *b* Schieber, Sperrklinke, *c* Steg zur Führung

beider. Die Entlastungsschieber aller Art sind Sperrkörper, welche von einem die Aus- und Einrückung hindernden resultirenden Flüssigkeitsdruck möglichst befreit sind. Andere Analogien wird der Leser noch in Menge auffinden können, indem es sich um wirk-

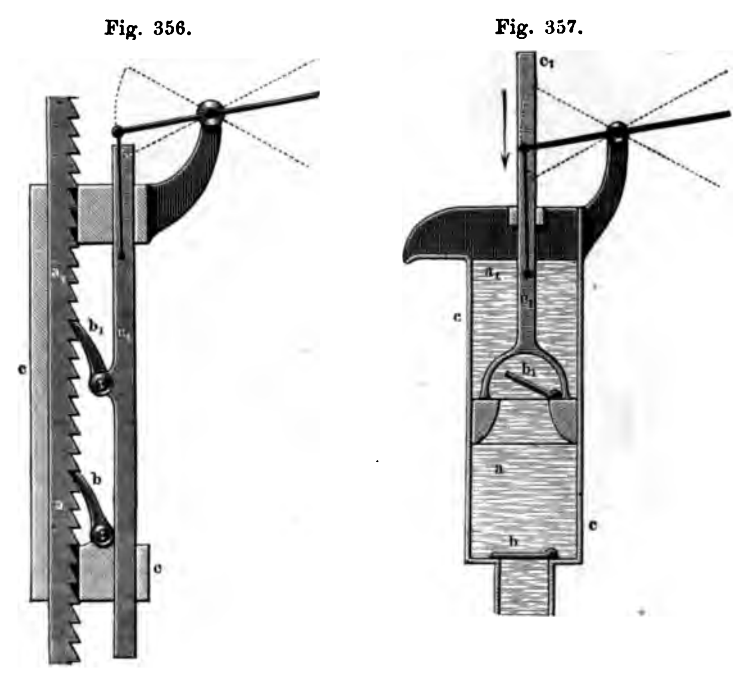
Fig. 354. Fig. 355.



liche gegenseitige Entsprechung, nicht bloss um eine bildliche Parallele handelt.

Wird ein Ventil nur soweit geöffnet, dass das durchgelassene Druckkraftorgan seinen Durchgang mit grosser Geschwindigkeit nehmen muss, so wirkt das Gesperre als Bremswerk. Die beiden

Fig. 356. Fig. 357.

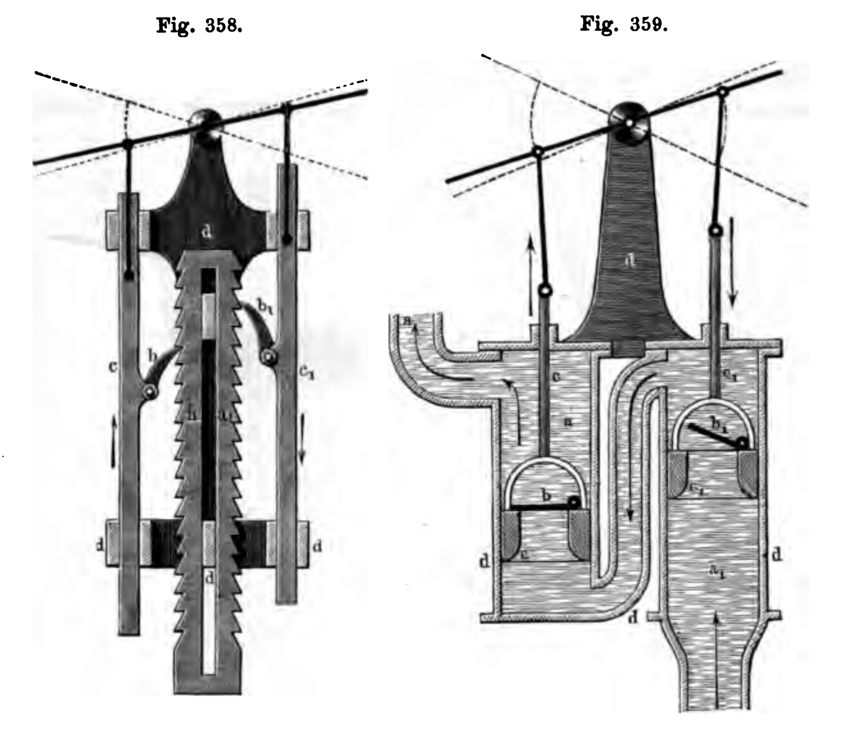


Mechanismengattungen gehen also hier in einander über, was wir oben (§. 122) auch bereits bei den aus starren Elementen gebildeten Getrieben bemerkten.

In den Anwendungen der Flüssigkeitsgesperre in vollständigen Mechanismen und Maschinen besteht die Analogie mit den Gesperren für starre Körper fort. Der früher besprochenen Schaltung Fig. 356 entspricht der Mechanismus Fig. 357 (a. v. S.), welcher nichts anderes ist als eine gewöhnliche Hebepumpe. Das Kolbenrohr *c* entspricht dem Stege *c* des Schaltwerkes, das Saugventil der unteren Klinke *b*, das Kolbenventil der oberen oder Schaltklinke b_1, die prismatisch-cylindrische Zusammenpassung von Kolben und Kolbenrohr der prismatischen Paarung zwischen dem Schaltschieber c_1 und dem Stege *c*.

Das doppeltwirkende Schaltwerk Fig 358, welches wir bereits kennen, hat sein genau entsprechendes Gegenstück in der soge-

Fig. 358. Fig. 359.

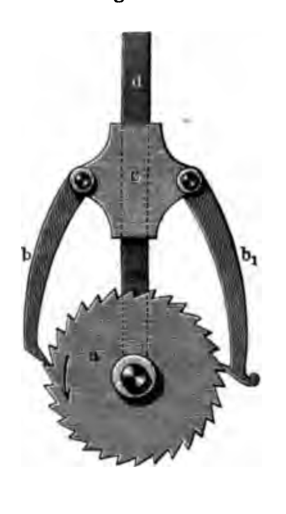


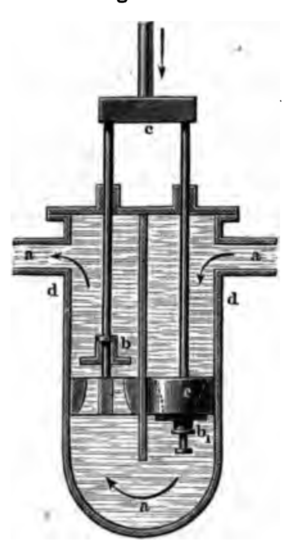
nannten Stoltz'schen Pumpe, Fig. 359. Theil für Theil der Pumpe ist in dem Schaltwerk vorgebildet; die beiden Kolben und Kolben-

stangen c und c_1, entsprechen den beiden Schaltschiebern c und c, die Ventile b und b_1 den Schaltklinken, die Pumpenstiefel nebst Gestellbau d den Führungen und dem Gestelle des Schaltwerkes. Auch der Rücklauf der Klinken über die doppelte Zahl der jeweilig vorgeschobenen Zähne findet sich wieder, indem das Wasser dem schöpfenden Kolben mit der doppelten Förderungsgeschwindigkeit begegnet. Die Nebeneinanderlegung der Pumpenstiefel ist nicht Grundbedingung in der vorliegenden Pumpengattung; man findet auch Anordnungen, bei welchen die Kolbenrohre konaxial übereinander aufgestellt sind, wobei z. B. die eine Kolbenstange von oben, die andere von unten eintritt*).

Dem doppeltwirkenden Schaltwerk von Lagarousse, welches Fig. 360 aufs neue darstellt, entspricht die doppeltwirkende Vose'sche Pumpe, Fig. 361. Die Analogien sind bis ins Einzelne


Fig. 360. Fig. 361.





zu verfolgen; es findet sich auch wieder die, dass die rücklaufende Klappe das Doppelte ihres absoluten Weges an dem Schaltkörper a entlang zurücklegt, d. h. dass die Geschwindigkeit jedes der beiden Kolben gegen das Wasser gleich der doppelten absoluten Kolbengeschwindigkeit ist.

*) Vergl. König's Pumpen (Jena, 1869) S. 52.

In ähnlicher Weise lässt sich durch andere Pumpenkonstruktionen die Analogie mit den Schaltwerken durchlaufen. Es treten nur jeweilig diejenigen Umgestaltungen auf, welche durch die Bildsamkeit des Druckkraftorganes gestattet oder gefordert werden. Mit einem Worte also: die Kolben- und Ventilpumpen sind Flüssigkeits-Schaltwerke.

Die Uebersicht, welche dieser Satz über die Pumpenkonstruktionen gewährt, ist wie mir scheint, äusserst lehrreich und vereinfacht die ganze Frage ungemein. Es verdient, darauf hingewiesen zu werden, dass die laufenden Schaltwerke ebenso wie die Ventil- und Kolbenpumpen bereits vor Einführung der Dampfmaschine beträchtlich ausgebildet waren, was wieder damit zusammenhängt, dass die Sperr- und Schaltklinken eben so, wie die Hebungsventile, als kraftschlüssige Vorkehrungen den natürlichen Vorgängen näher stehen. Auch ist zu beobachten, dass die moderne Technik deutlich dahin strebt, die kraftschlüssige selbstthätige Bewegung der Ventile durch eine zwangläufige zu ersetzen, wovon die sogenannten Schieberpumpen und andere Konstruktionen redende Beispiele sind*).

Die Wassersäulenmaschine und die gewöhnliche Kolbendampfmaschine haben im allgemeinen die Einrichtung der Kolben- und Ventilpumpen oder Flüssigkeitsschaltwerke, und zwar entweder einfachwirkender oder doppeltwirkender. Im Betriebe unterscheiden sie sich dadurch, dass bei ihnen das Druckkraftorgan nicht mehr geschaltet wird, sondern umgekehrt den Mechanismus treibt. Demzufolge fällt die Selbstthätigkeit der Ventile weg. Dieselben müssen kettenschlüssig bewegt werden. Diese Bewegung hat indessen in demselben allgemeinen Zusammenhang mit der Kolbenbewegung wie bei den Pumpen zu geschehen. Damit dies ohne grosse Kraftäusserung bewirkt werden könne, werden ruhende Flüssigkeitsgesperre, d. h. entlastete Hebungsventile oder — und bei der Dampfmaschine bekanntlich mit Vorzug — Gleitungsventile angewandt, welchen man durch den Steuerungsmechanismus eine passende Bewegung ertheilt. Wir können demnach sagen: die Kolbendampfmaschinen, Wassersäulenmaschinen u. s. w. sind rückläufige Flüssigkeitsschaltwerke. Wir werden hierauf weiter unten zurückkommen.

---

*) Vergl. u. a. Hänel's Saugventil in Scholl's Führer des Maschinisten. 8. Aufl. S. 419.

§. 127.

Die Federn als Maschinentheile.

Welche Rolle die Federn in der kinematischen Kette spielen, wissen wir aus früheren Untersuchungen. Nach §. 42 gehören die Federn an sich zu den kinematischen Elementen, und zwar zu den duktilen oder bildsamen Elementen, und können für jede Schlusskraftrichtung eingerichtet werden, während die Zug- und Druckkraftorgane nur für je eine Kraftrichtung brauchbar sind. Werden den Federn Anhängeösen und andere Befestigungstheile gegeben, so sind sie Glieder der kinematischen Kette. Dass sie zu den baulichen Maschinenelementen wirklich zu zählen sind, geht aus den angestellten Betrachtungen unzweifelhaft hervor.

§. 128.

Folgerungen aus der vorgenommenen Analysirung.

Die nunmehr beendigte Analysirung der baulichen Maschinenelemente hat uns mehrere nicht unwesentliche Ergebnisse geliefert. Zunächst hat sie gezeigt, dass dasjenige, was man gemeinhin unter Maschinentheilen, Maschinendetails oder baulichen Elementen der Maschine versteht, ein Gemisch von kinematisch sehr verschiedenen Dingen ist. Es handelt sich theils um wirkliche kinematische Elemente (Zapfen, Zapfenlager, Röhren, Kolben, Stopfbüchsen, Seile, Riemen, Ketten, Federn), theils um Glieder kinematischer Ketten (Achsen, Wellen, Lagerstühle, Hebel, Kurbeln, Pleuelstangen, Querhäupter, Dampfcylinder etc.), theils um vollständige Elementenpaare (Reibungsräder, Zahnräder), dann wieder um Bruchstücke kinematischer Ketten (Riementrieb, Seiltrieb, Sperrwerke, Bremswerke, lösbare und bewegliche Kupplungen, Ventile etc.), ja auch um vollständige kinematische Ketten (Verschraubungen, Keilungen). Aus dem Ganzen geht indessen hervor, dass die Konstruktionslehre die Absicht hat, bei Behandlung der baulichen Elemente den Bau der gebräuchlichsten Elementenpaare und der gebräuchlichsten kinematischen Kettenglieder zu lehren. Denn die Verschraubungen,

Keilungen, Nietungen, festen Kupplungen u. s. w. werden nicht sowohl wegen ihres Inhaltes als bewegungserzwingende Zusammenstellungen, als vielmehr wegen ihrer Fähigkeit, feste Verbindungen, Gliedbildungen zu liefern, behandelt; und beim Riemen- und Seiltrieb stösst man deshalb auf nahezu vollständige kinematische Ketten, weil die Benutzung der bildsamen Elemente in geschlossenen Ketten nur unter Kettenbildung, Kettenschluss, möglich ist. Mehr zusammengesetzt und eigentlich den vollständigen Ketten zuzurechnen sind einzelne bewegliche Kupplungen, Brems- und Sperrwerke. Indessen diese treten so häufig nur in untergeordneter Weise in grössere Ketten ein, dass sie diesen gegenüber wiederum wie elementare Theile erscheinen, somit ihre Einreihung als gerechtfertigt angesehen werden darf.

Es fragt sich indessen, ob nicht von dem gewonnenen Standpunkte aus für eine rationelle Anordnung und Aneinanderreihung der baulichen Elemente Gesichtspunkte gewonnen werden können. Dies ist wohl in der That der Fall; der Gegenstand verdient auch gewiss, hier einer kurzen Betrachtung unterworfen zu werden.

Vor allem ist der Gedanke an eine ganz streng systematische Anordnung und Behandlung fallen zu lassen. Vielmehr muss besonnene Konnivenz das Ganze durchdringen: man hat ab- und zuzugeben, um sich darein zu fügen, dass mannigfache praktische Fragen wiederholt den Rahmen der vorgezeichneten Ordnung durchbrechen. Ein eigentlicher Fehler ist dies aber nicht, da es in der Natur des Gegenstandes tief begründet liegt, und man nichts desto weniger unter der Oberfläche die wissenschaftliche Grundlage, welche die Kinematik liefert, festhalten kann.

Man wird zunächst eine gewisse Sonderung zwischen den starren und den bildsamen Elementen eintreten lassen, und dieselbe vollständiger durchführen können, als es bisher üblich war. Beginnt man, wie sich wohl empfiehlt, mit den starren Elementen, so wird man nicht pedantisch alles und jedes verbannen dürfen, was über die reine Einheit oder Zweiheit der Elemente hinausgeht, vielmehr zu bedenken haben, dass die Gliedbildung an sich (wie wir gesehen haben) bereits die Benutzung kinematischer Ketten voraussetzt. Da aber die Gliedbildung zunächst in sich unbewegliche Verbindungen liefert, so sind letztere den Elementenpaaren gegenüber als das Einfachere anzusehen, und so wie bisher vielfach geschehen ist, zu Anfang zu behandeln. An sie können sich dann die zu beweglichen Verbindungen bestimmten kinematischen Ele-

mente, Elementenpaare und Glieder anschliessen, an welchen zudem die zuerst besprochenen Verbindungskonstruktionen bereits vielfach Anwendung finden.

Hiernach wird sich eine erste Reihe baulicher Elemente wie folgt bilden lassen.

I. Starre Elemente.

a. Verbindungen (Gliedbildungen)	Nieten und Nietungen, Keile und Keilverbindungen, Zwängungsverbindungen, Schrauben u. Verschraubungen, übergehend zu:
b. Elemente, gepaart und zu Gliedern verbunden.	Schraube und Mutter (zur Bewegungserzwingung) Zapfen, Lager, Achsen, Wellen, Kupplungen, feste, Hebel, einfache, Kurbeln, Hebel, zusammengesetzte, Pleuelstangen, Querhäupter u. Führungsgleise, Reibungsräder, Zahnräder, Schwungräder.

Ob bei den Kupplungen die lösbaren und die beweglichen den festen anzuschliessen sind, bleibt fraglich, da, wie wir oben gesehen haben, die eingerückten Kupplungen doch nur feste Glieder liefern, also nicht ohne guten Grund den festen Kupplungen anzuschliessen wären, und die beweglichen Kupplungen alsdann der Vollständigkeit wegen gleich angeschlossen werden dürften. Daneben ist aber wieder nicht zu vergessen, dass diese höheren Kupplungen allerlei Nebentheile in der Gestalt von Hebeln, Sperrklinken, Bremsklötzen und dergleichen haben, und deshalb auch dem Lernenden grössere Schwierigkeiten verursachen; da die genannten Nebentheile aber nach den Kupplungen noch grösstentheils eine besondere prinzipielle Behandlung erfahren, so empfiehlt sich wohl die Hinausschiebung zu den vollständigen Getrieben. Gehen wir

nun weiter, so kommen wir zu der zweiten Reihe der baulichen Elemente und deren einfachsten Verkettungen.

II. Bildsame Elemente.

a. Zugkraftorgane und deren kettenschlüssige Verwendung.	Riemen. Riementrieb. Seile. Seiltrieb. Ketten. Kettentrieb.
b. Partner der Druckkraftorgane.	Röhren. Kolbenröhren, Kolben. Stopfbüchsen, Ventile,
c. Federn	Zugfedern, Druckfedern, Biegungsfedern, Drehungsfedern, Strebefedern.

Hier ist wiederum ein zweifelhafter Punkt geblieben. Das ist, ob die Ventile unter II, b bereits aufzunehmen oder ob sie weiter zurückzuschieben seien, da sie doch, wie wir gesehen haben, den Sperrwerken angehören und deshalb auch wohl erst nach den aus den starren Elementen gebildeten Gesperren zu behandeln wären. Indessen ist das Belassen der Ventile bei Kolben und Stopfbüchsen, welche übrigens ja im Grunde auch Sperr- und Schaltwerken angehören, so natürlich, dass man bei der vorstehenden Ordnung, welche ja ziemlich üblich ist, bleiben kann. Hier haben wir einen der Punkte vor uns, wo die rücksichtslose Durchführung der streng theoretischen Auffassung nicht zu empfehlen ist.

Die Federn gehören ordnungsgemäss an die ihnen oben zugewiesene Stelle, vor allem dann, wenn ihre konstruktive Ausführung besprochen wird. Ihre Berechnung ist indessen so eng mit den Aufgaben der Festigkeitslehre verknüpft, dass sie sich auch in dieser fast erschöpfend behandeln lassen. Es hängt demnach von äusseren Umständen ab, ob die Federn an der einen oder anderen Stelle zur Besprechung gebracht werden sollen.

An die oben aufgezählten Maschinendetails lassen sich nun zweckmässig jene mehrerwähnten Getriebe anschliessen, welche, obwohl sie mehr oder weniger vollständige Ketten sind, als elementare Theilgruppen in die Maschine eintreten. Es handelt sich um folgende.

III. Getriebe.

Sperrwerke (die einfachsten),
Bremswerke,
Lösbare und bewegliche Kupplungen.

Diese Gegenstände bilden eine Art von Uebergang zu den vollständigen Maschinen. Man hat zunächst nicht zu vergessen, dass mehrere wichtige Getriebe, wie z. B. das Schraubengetriebe $(S'P'C')^c$, das Kurbelgetriebe $(C_3''P^{\perp})^d$, bereits bei den starren Elementen vorkamen, ohne dass besonderer Nachdruck darauf gelegt wurde. Vollständige Ketten und Getriebe wurden also nebenher bereits besprochen. Dasselbe gilt von den Riemen-, Seil- und Kettengetrieben. Unorganisch ist demnach die Vorführung der obigen drei Getriebe nicht. Sodann wissen wir auch, dass die lösbaren Kupplungen Sperr- und Bremswerke sind (vergl. §. 123). Endlich gehören die beweglichen Kupplungen, wie wir gesehen haben (§. 111), den aus den niederen Paaren gebildeten Mechanismen an, somit ist auch ihre Aufführung an dieser Stelle gerechtfertigt.

Im Ganzen sehen wir, dass die Innehaltung des kinematischen Gesichtspunktes uns äusserlich nicht sowohl zum Umsturz, als nur zu einer Neuordnung der baulichen Elemente geführt, also keine erheblichen Schwierigkeiten in Aussicht gestellt hat. Innerlich dagegen hat sie weitreichende Aufklärungen geliefert, vermöge deren nach meiner Ansicht die Behandlung der ganzen Frage in mehreren Punkten wesentlich erleichtert wird.

Die Analysirung hat an mehreren Stellen Ergebnisse geliefert, vermöge deren vielgebrauchte und scheinbar durch und durch bekannte Elemente in einem neuen, unerwarteten Lichte erscheinen. In besonderem Maasse gilt dies von den Ventilen und der grossen Reihe der damit ausgerüsteten Maschinen, wie den Kolbenpumpen, -Gebläsen, -Dampfmaschinen u. s. w. Die Aufklärung, welche wir erlangten, lässt viele der diesen Maschinen eigenthümlichen Erscheinungen erstlich als eng zusammengehörig, dann aber auch

als leichter verständlich erscheinen, als dies bisher der Fall war. Wir konnten Verwandtschaften bestimmt erklären, welche bisher vielleicht empfunden, aber nicht erwiesen wurden. Wir haben dadurch eine Vereinfachung angebahnt, allerdings indem wir den Kreis des Zusammengehörigen erweitert, aber zugleich auch eine Verminderung der Klassenzahl herbeigeführt haben. Die damit erreichte Uebersichtlichkeit wird sich namentlich in der angewandten Kinematik zu bewähren haben.

Noch eine andere Aufklärung hat unsere Analyse uns verschafft, deren Bedürfniss vielleicht schon häufiger empfunden worden ist. Es ist diejenige hinsichtlich der Schlösser. Bisher wusste man nicht recht, wohin eigentlich diese Vorrichtungen gehörten. Durch eine mehr zufällige als planmässige Stoffvertheilung, welche den im übrigen verlassenen Karakter des Encyklopädischen noch an sich trägt, sind sie der mechanischen Technologie zugefallen. Was diese damit zu thun hat, ist kaum irgendwie erfindlich. Indessen die Schlösser irrlichterirten zwischen den verschiedenen Gebieten hin und her, ohne dass man recht gewusst hätte, warum und wohin mit ihnen. Sie haben bei der Technologie eine liebevolle Aufnahme und Pflege gefunden, werden aber mit der Zeit zur Kinematik, und zwar zur angewandten, hinüberzunehmen sein. Dass ihre Grundprinzipien sich dort ungemein einfach und übersichtlich gestalten, haben wir bereits gesehen.

Auch die Spannwerke — bisher nicht begrifflich ausgesonderte Einrichtungen — und die Hemmungen haben sich aus ihrer Vereinzelung und Verwaistheit unter grössere Gesichtslinien bringen lassen. Uebrigens werden wir uns mit den letztgenannten Mechanismen weiter unten nochmals beschäftigen (§. 135 und 136). Dasselbe gilt in besonderem Grade von den Wasserrädern, Dampfmaschinen und anderen vollständigen Maschinen, welchen wir bereits mehrere allgemeine Gesichtspunkte abgewinnen konnten, deren eigentliche grundsätzliche Erledigung uns indessen noch zur Aufgabe steht.

Bemerkenswerth ist endlich noch ein anderes Resultat unserer Untersuchungen, welches eine weitergreifende theoretische Bedeutung besitzt. Ich meine dasjenige über die allgemeine Natur des Schliessens einer kinematischen Kette oder eines Elementenpaares. Es hat sich gezeigt, dass wir drei Schliessungsarten der kinematischen Kette, von der vielgliedrigen bis herab zur zweigliedrigen oder dem Elementenpaare, unterscheiden können, nämlich

1) die normale zwangläufige,
2) die unvollständige oder zwanglose,
3) die übermässige Schliessung.

In allen drei Fällen ist die Bedingung erfüllt, dass die Kette in sich selbst zurückläuft, und dass von Glied zu Glied Elementenpaarung stattfindet.

Bei der zwangläufigen Schliessung sind alle Relativbewegungen der Glieder bestimmte.

Bei der unvollständigen Schliessung, die man auch eine zwanglose nennen kann, sind wegen Ueberzahl der Glieder die Relativbewegungen zwischen den Gliedern unbestimmte.

Bei der übermässigen Schliessung ist die gegenseitige Beweglichkeit der Glieder aufgehoben.

Alle drei Arten finden ihre Anwendung. Die erste und wesentlichste in jeder Maschine. Sie ist das eigentliche Wesen derselben. Die zweite Art kommt bei der Ausrückung, also der theilweise stattfindenden Aufhebung der Wirksamkeit der Maschine, oder der Negation derselben zur Anwendung. Die dritte Art dient ebenfalls zu diesem und ausserdem noch zu dem anderen Zwecke, innerhalb des einzelnen Gliedes die Beweglichkeit auszuschliessen, überhaupt also das Glied zu bilden. Die normale zwangläufige Schliessung zeigt sich als zwischen den beiden anderen Fällen liegend, von ihnen gleichsam eingeschlossen, womit wir zugleich einen Weg angedeutet sehen, auf welchem unter den möglichen Fällen der geschlossenen Aneinanderreihung von Kettengliedern der wichtige Fall der zwangläufigen Verbindung herauszufinden ist.

In der geläufigen und dem jeweiligen Zwecke geschickt angepassten Benutzung der drei Schliessungsweisen besteht äusserlich die Thätigkeit des Maschinenbildners. Innerlich freilich ist sie ihm nur das Mittel, um die Aufgabe, welche der vollständigen Maschine gestellt ist, zu lösen. Welche allgemeinen Grundsätze hierbei maassgebend sind, oder sich aufstellen lassen, werden wir nun noch aufzusuchen haben.

ZWÖLFTES KAPITEL.

ANALYSIRUNG DER VOLLSTÄNDIGEN MASCHINE.

„Altes Fundament ehrt man, darf aber nicht das Recht aufgeben, irgendwo einmal wieder von vorne zu gründen.“ Göthe.

---

§. 129.

Bisherige Anschauungen.

Nachdem wir mit den Mitteln, welche die kinematische Analyse uns gewährte, sowohl die Zusammensetzung der Maschine aus Gruppen von Bestandtheilen, wie auch das Wesen dieser Bestandtheile selbst einer kritischen Untersuchung unterworfen haben, tritt uns nunmehr die Aufgabe entgegen, die vollständige Maschine als Ganzes zu untersuchen. Wir werden damit den Kreislauf vollziehen, welchen wir im ersten Kapitel begannen, wo wir, von der vollständigen Maschine ausgehend, die Zergliederung derselben vornahmen, um die Maschine von allen denjenigen Gesichtspunkten aus zu untersuchen, welche wir als dem kinematischen Gebiete angehörig erkannt hatten. Im Grunde genommen müssten wir bei dieser Untersuchung die Eigenschaften der vollständigen Maschine bereits kennen gelernt haben. Ja, man darf in der That sagen, dass dies auch wirklich geschehen ist. Aber nur insofern, als wir die erwähnten Eigenschaften einzeln, als „*disjecta membra*“, jede losgelöst aus dem Zusammenhang mit den anderen, kennen lernten. In ihrer Vereinigung aber, und den dabei entstehenden

gegenseitigen Beziehungen müssen sie nun nochmals einer Musterung unterworfen werden, die namentlich über die schliessliche Bestimmung und Verwerthung der Maschine uns noch Aufschlüsse verschaffen soll, die wir bis dahin nicht in den Kreis unserer Betrachtungen ziehen konnten.

Zunächst liegt uns ob, die bisher gebräuchliche Anschauungsweise hervorzuholen, um zu sehen, wie weit dieselbe brauchbar bleibt, oder ob sie zu berichtigen ist. Schon in der Einleitung wies ich auf die ungemein verbreitete Anschauung von dem Inhalt der vollständigen Maschine hin, welche namentlich durch den unvergesslichen Poncelet getragen, überhaupt von der französischen Mechanikerschule eingeführt worden ist. Es ist die Anschauung, dass die vollständige Maschine im allgemeinen in drei Theile oder Gruppen von Theilen, nämlich in

Rezeptor, Transmission und Werkzeug

zerfalle. Unter dem Rezeptor wird hierbei derjenige Theil verstanden, auf welchen die bewegende, treibende Naturkraft unmittelbar einwirkt und demselben die zur Verfügung kommende mechanische Arbeit überträgt; das Werkzeug gibt die Arbeit in geeigneter Weise an den zu bearbeitenden Körper ab; zwischen Rezeptor und Werzeug, deren Bewegung in der übergrossen Zahl der Fälle nicht übereinstimmt, befindet sich als Bewegungsvermittler die Transmission. Diese Anschauung hat etwas ungemein Schlichtes, Einfaches, man möchte sagen Natürliches, was von vorn herein sehr für sie einnimmt. Poncelet selbst sprach sich mit überzeugender Ruhe und logischer Sicherheit für sie aus*). Auch sagte er dabei nicht sowohl etwas aus, was zu seiner Zeit ganz neu zu nennen gewesen wäre; vielmehr fasste er nur das Bekannte und mehr oder weniger Anerkannte in bestimmte Sätze zusammen, welche, wie ich schon früher andeutete, nachher zu wahren Grundsäulen der Maschinenlehre erwachsen sind. In der That spricht auch Vieles für die darin enthaltene schlichte und übersichtliche Anschauung. Die Ursache, weshalb sie leicht für sich einnimmt, ist wohl die, dass im Stillen Analogien mit anderen Forschungs-

---

*) Traité de mécanique industrielle, III. partie, §. 11: „La science des machines, ainsi envisagée, se compose donc de la science des outils, de la science des moteurs et de la science des communicateurs ou modificateurs du mouvement ..."

gebieten mitempfunden werden, wozu die Dreitheilung oder Dreigliederung, das Bestehen aus Anfang, Mittel und Ende, aus zwei Haupttheilen und einem Bindeglied u. s. w. Veranlassung geben. Auch deckt die Erklärung in vielen Fällen den praktischen Vorgang, hat also auch diese bedeutende Stütze für sich. Dennoch aber, oder vielleicht gerade deswegen sind wir genöthigt, die dargelegte Grundanschauung einer strengen Prüfung zu unterwerfen.

Folgen wir zunächst der alten Auffassung noch um einige weitere Schritte, so erfahren wir, dass die um den Rezeptor herum anzuordnenden Theile, behufs bester Verwendung der motorischen Kraft, zu gewissen Theilgruppen zusammentreten, welche man als „Kraftmaschine" aussondern könne. Solche Kraftmaschinen sind z. B. die Dampfmaschine, das Wasserrad, die Turbine u. s. w., die man auch, die Bezeichnung des bewegenden Körpers oder Motors erweiternd, „Motoren" nennt. In ganz analoger Weise sollen sich um das Werkzeug herum gewisse Theile gelegentlich zu einer Gruppe zusammenordnen, welche die passendste Bewegung und Verwendung des Werkzeuges sichert. Man nennt diese Gruppe „Arbeitsmaschine", auch „Werkzeugmaschine", oder — ebenfalls unter Erweiterung der Benennung des wesentlichen Theiles — „Werkzeug".

Beim Eingehen auf diese gebräuchlichen, und dem Fachmann völlig geläufigen Ausdehnungen der Grundanschauung betritt man aber alsbald einen Boden von zweifelhafter Sicherheit. Denn wenn jede vollständige Maschine einen Motor im oben angedeuteten Sinne (also in der Form von Dampf, Luft, Wasser, Gas etc.) haben muss, so ist offenbar die Drehbank, so ist die Hobelmaschine keine vollständige Maschine, so sind überhaupt alle Arbeitsmaschinen, welche in irgend einer Fabrikanlage aufgestellt sind, einzeln nicht vollständige Maschinen, sondern nur Theile von solchen. Unser gewöhnlicher Sprachgebrauch, der mit Bestimmtheit alle diese Vorrichtungen Maschinen nennt, begienge also einen groben Fehler, oder befände sich jedenfalls im Widerspruch mit der fachwissenschaftlichen Definition.

Eine ganz ähnliche Beobachtung haben wir bei den Kraftmaschinen zu machen. Diese haben zu sehr grossem Theile, für sich betrachtet, kein Werkzeug zum Bearbeiten irgend eines Körpers. Auch sie wären demnach keine vollständigen Maschinen. Unsere Maschinenbau-Anstalten, welche Dampfmaschinen, Turbinen, Gaskraftmaschinen etc. mit allem Raffinement bauen, lieferten so-

mit keine vollständigen Maschinen; sie bauten nur Theile von Maschinen. Die besondere Qualität, vollständige Dampfmaschinen zu sein, hätten nur etwa die Dampfhämmer, Dampfquetschen, Dampfscheeren, direkt wirkende Walzwerke u. s. w., während jene erstgenannten Erzeugnisse trotz aller Vollkommenheit der Herstellung erst nachträglich mit anderen Vorrichtungen zusammen das Bündniss eingiengen, dessen Resultat den Namen der vollständigen Maschine zu tragen berechtigt ist.

Dem allem aber widersetzt sich unwillkürlich die natürliche unmittelbare Auffassung, welche wir zur Sache mitbringen, wenn wir uns von theoretischen Definitionen unbehindert wissen — oder vielleicht auch umgekehrt: unsere einfache unmittelbare Auffassung lässt die Autorität der geltenden theoretischen Anschauungen einigermaassen fragwürdig erscheinen.

Noch ein dritter Punkt gibt ebenfalls zu erheblichen Bedenken dieser Art Veranlassung. Betrachten wir einen Spinnstuhl, auf welchem der Faden verschiedene Folgen von Bewegungen durchmacht, die er nicht vollziehen könnte, wenn nicht er, der Faden selbst, als Bewegungsübertrager wirkte, um z. B. gestreckt, gezwirnt, aufgewickelt zu werden. Ist der zu bearbeitende Körper nun dieses letztere, oder ist er „Transmission", oder gar „Werkzeug"? Und wo hört er auf oder fängt an, das eine, andere und dritte zu sein? Aehnliche Ungenauigkeiten drängen sich bei verwandten Maschinen auf. Was hat nun das zu bedeuten, dass diese Spinnmaschine, dieser Webstuhl, überhaupt die ganze Faserstoffmaschinerie nicht „korrekt" in die Theorie passen will? Liegt es an den Maschinen, die doch jeder Mechaniker als sehr vollkommen kennt, oder liegt es an der Theorie? — Ein anderes Beispiel. Sehen wir den bekannten hydraulischen Widder oder Stossheber an. Das Kraftwasser treibt hier einen Theil seiner eigenen Masse, nachdem diese gewirkt hat, in das Steigrohr hinein und liefert ihn oben ab. Die Maschine ist also ohne Zweifel vollständig. Wo aber steckt hier der „Rezeptor", wo das „Werkzeug", wo die „Transmission"? Sollte hier der Wasserstrom alles das zugleich vorstellen? Und was sind in diesem Falle die übrigen Theile der Maschine? Oder hat uns der geniale Mongolfier in seiner Erfindung nur ein neckisches Paradoxon, einen machinalen Irrwisch, nicht aber eine ordentliche ehrsame Maschine, welche sich über ihre Existenzberechtigung gehörig ausweisen kann, hinterlassen [51])?

Wir sehen, Fragen über Fragen, Zweifel über Zweifel erheben

sich, wenn wir ernstlich versuchen, die als wissenschaftliche anerkannten Kategorien der bisherigen Schule an die Maschinenpraxis anzulegen. Und doch handelt es sich nicht um eine Sache, bei welcher es etwa gleichgültig wäre, ob man sie so oder so ansieht; vielmehr handelt es sich um einen der wichtigsten Faktoren des modernen Lebens, um einen Zweig der menschlichen Thätigkeit, der in fast alle Verhältnisse eingreift, und welchen wissenschaftlich mit Sicherheit zu erfassen, die bedeutendsten geistigen, wie materiellen Anstrengungen gemacht werden. Es liegt demnach der triftigste Grund vor, diese Kategorien auf ihre innere Bedeutung hin zu untersuchen, und hierzu wollen wir nun übergehen.

§. 130.

Das Werkzeug.

Wir beginnen mit dem die Arbeit unmittelbar ausführenden Körper, dem Werkzeug, und zwar in der Weise, dass wir bei einigen Maschinen feststellen, welcher Theil als das Werkzeug anzusehen ist. Bei der Drehbank, der Hobelmaschine, der Bandsäge z. B. ist dies sehr leicht. Der Drehmeissel, der Hobelstichel, das Sägenblatt, jedes tritt deutlich als das Organ der Umgestaltung des zu bearbeitenden Körpers hervor. Bei der Schraubenschneidmaschine sind in der Regel mehrere Körper, die Schneidbacken, zum Werkzeug vereinigt, weshalb man die Backen zusammen mit ihren Umfassungstheilen, die sogenannte Schneidkluppe, als das Werkzeug bezeichnen kann und auch in der That bezeichnet. Bei Walzwerk sind es die beiden Walzen, welche als Werkzeuge dienen, indem sie das auszuwalzende Metallstück umformen und fortbewegen. Beim Mahlgang zerkleinern die Mühlsteine als Werkzeuge das Getreidekorn, indem sie dasselbe nebst dem von ihm abgelösten Mehl nach dem äusseren Rande der Steine führen. Bei der Drahtstiftmaschine wirkt ein Werkzeug, und zwar ein zusammengesetztes, auf Festhalten des Drahtes, ein anderes, ebenfalls zusammengesetztes, auf Abschneiden desselben, ein drittes auf Anstauchen des Kopfes, andere Theile bewirken das Herzuführen eines neuen Drahttrums, wieder andere die Wegführung des fertigen Stiftes. Bei der Kratzenbandmaschine arbeiten mehrere Werkzeuge nacheinander theils auf das Lederband, um es zu lochen, theils auf den

Draht, um ihn abzuschneiden, wiederholt zu biegen, in das Band zu führen, theils auf Band und Draht zugleich, um den eingeführten Haken festzudrücken. Also eine Reihe von Werkzeugen von verschiedener Einwirkungsweise und verschiedenem Objekt, so zu einander gesellt, dass es sehr schwer zu sagen ist, wo das eine aufhört und das andere anfängt.

Wir beobachten hier, dass die Einheitlichkeit des Werkzeuges sowie auch die des zu bearbeitenden Körpers nicht als Bedingung auftritt. Hierauf müsste man, um strenge zu sein, bei der definitorischen Feststellung bereits Rücksicht nehmen, was manche Schriftsteller, welche die wissenschaftliche Strenge durchzuführen suchten, wie z. B. Redtenbacher, zwang, weitläufige Erklärungen an die Stelle von Definitionen zu setzen. Gehen wir indessen, ehe wir uns auf diese Frage einlassen, noch etwas weiter zu anderen Beispielen.

Bei den Lastenhebungsmaschinen, dem Kran z. B., hat man als Werkzeug den Haken, an welchen der zu hebende Körper angehängt wird, bezeichnet. Dies ist nach der Definition auch richtig, indem der Haken unmittelbar die Hebungsarbeit ausübt. Allein, denken wir uns einmal den Haken weggenommen, statt seiner aber das Seil, an welchem der Haken hieng, um den zu hebenden Waarenballen, Stein, Balken, herum geschlungen und daran festgeknotet, so wird die Maschine nach wie vor die Last heben, also an derselben ganz wie ihre Bestimmung ist, arbeiten können; die grössere oder geringere Bequemlichkeit der Anhängung kommt dabei offenbar nicht in Betracht. Somit konnte der Haken das Werkzeug des Krans nicht sein, da ja zweifellos das Wegnehmen eines wesentlichen, eines Kardinalbestandtheiles der Maschine dieselbe unbrauchbar machen müsste. Nun denn — möchte eingewendet werden — in diesem Falle ist die improvisirte Schleife oder Schlinge, die man aus dem Seil gemacht hat, jener Haken, indem ja das Material zu letzterem und seine konstruktive Ausführung verschieden gewählt werden können, ohne dass sein Wesen sich ändert. Das liesse sich hören. Wie aber, wenn wir nunmehr die Last ablösen und das Seil schlicht herabhängen lassen — nehmen wir an, in recht grosse Tiefe — und nunmehr das leere Seil in die Höhe winden, wirkt da die Maschine Kran nicht ganz genau in derselben Art wie früher? Hat sie nicht eine Last zu heben wie früher? Wirken nicht alle Räder, Rollen, Achsen, Klinken, Kurbeln wie früher? Und nun ist doch weder Haken noch Schleife,

ja nicht einmal eine besondere Last, sondern nur das glatte leere Zugkraftorgan an der Laststelle der Maschine vorhanden; der zu hebende Körper ist nunmehr ein Glied der kinematischen Kette selbst. Das Werkzeug im Sinne der bisherigen Definition ist uns aber vollständig entschlüpft. Wir vermögen es nicht nachzuweisen.

Versuchen wir es mit der Lokomotive. Man hat gesagt, der Kupplungshaken oder die Kupplungseinrichtung überhaupt, welche den Zug mit der Maschine verbindet, sei hier das Werkzeug. Auffallend ist hier, dass es eine so grosse Menge von Kupplungskonstruktionen gibt, mit welchen doch immer eine und dieselbe Maschine arbeiten und zwar immer einen und denselben Zweck damit erfüllen soll. Wird nun jedesmal die Maschine als Ganzes eine andere? Nach der bisherigen Schule müsste dies doch der Fall sein, da nach ihr das Werkzeug ein wesentlicher, konstituirender Theil der Maschine ist. Lösen wir aber, um dieser Frage völlig auszuweichen, gleich den ganzen Wagenzug ab und lassen die Lokomotive mit dem Tender allein fahren. Oder besser noch, um nicht auf die Tenderkupplung zu stossen, laden wir Brennstoff und Wasser auf die Lokomotive selbst, denken uns letztere also als „Tenderlokomotive“ ausgeführt, so muss dieselbe, wenn sie nun eine steile Rampe hinauffährt, vielleicht genau so stark arbeiten, wie früher in der Ebene, als sie noch den Wagenzug an sich hängen hatte; der Kupplungshaken hat aber nun gar nichts mit dieser Erfüllung ihrer machinalen Bestimmung zu thun, kann also nicht das Werkzeug sein. Man könnte einwerfen, dass nunmehr die Maschine auch unvollständig sei, nämlich keine Güter und Personen befördere. Wie aber, wenn dieselbe Maschine eine sogenannte Expressmaschine ist, welche auf übergebauten Sitzen die zu befördernden Personen aufnimmt, oder wenn sie, wie die Fairlie-Lokomotive, auf dem verlängerten Wagengestell den Raum für die Reisenden bietet? Wo nun das Werkzeug steckt, ist nicht mehr zu sagen; jedenfalls ist die Bedeutung des Kuppelungshakens als eines solchen verschwunden. Ja selbst der zu bearbeitende Körper ist nicht mehr neben oder ausserhalb der Maschine vorhanden, sondern ist in dieselbe übergegangen, da das Wagengestell gleichzeitig Träger der Maschine ist.

Aehnliche Entdeckungen können wir an anderen Maschinen machen, z. B. am Dampfboot, wo das Werkzeug auf keine Weise aufzufinden ist. Auch ganz kleine Maschinen zeigen dieselbe Erscheinung. So z. B. die Taschenuhr. Welcher Theil hier das

Werkzeug sein soll, ist wohl schwer anzugeben. Sollten es die Zeiger sein? — Wo ist dann aber der Körper, auf welchen dieselben die mechanische Arbeit der Maschine unmittelbar übertragen? Auch sind die Zeiger ja nicht unbedingt nothwendig; sie lassen sich durch getheilte Scheibchen ersetzen, gegen welche eine feste Marke weisen könnte; auch eine blosse Marke an einem sichtbar gemachten Rade des Werkes würde allenfalls schon den Zweck erfüllen; also sind weder die Zeiger das Werkzeug, noch auch können wir dasselbe überhaupt mit Bestimmtheit angeben.

Unsere Untersuchung führt somit zu der Einsicht, dass das Werkzeug keine allgemeine Kategorie in der Maschine sein kann. Bloss bei gewissen Maschinen fanden wir das Werkzeug wirklich und deutlich erkennbar vor, bei anderen Maschinen war die Deutlichkeit schon geringer, bei wieder anderen ist es gar nicht vorhanden.

Suchen wir das den Maschinen der letzteren Art Gemeinsame festzustellen — die herangezogenen Beispiele waren Kran, Lokomotive, Dampfboot, Uhr — so finden wir, dass es sich bei denselben jedesmal um Ortsveränderung gewisser Körper handelt, dass die betreffenden Maschinen die Aufgabe haben, eine Ortsveränderung, einen Transport, zu bewirken. Kran, Lokomotive, Dampfschiff sind Maschinen, welche Lasten von einem Orte zum andern bewegen, sei es in senkrechter, sei es in waagerechter, sei es in beiden Richtungen. Dasselbe gilt im Grunde von der Uhr, wo indessen noch der besondere Zweck erfüllt werden soll, aus der Grösse der stattgehabten Ortsveränderung auf die Länge des dabei verflossenen Zeitabschnittes einen Schluss zu ermöglichen.

Die zuerst betrachteten Maschinen, bei welchen wir ein Werkzeug thatsächlich vorfanden, hatten dagegen alle die Eigenthümlichkeit, die zu bearbeitenden Körper einer Formänderung, nämlich einer Umgestaltung, Theilung, Trennung, Vereinigung etc., zu unterwerfen. Drehbank, Hobelmaschine, Schraubenschneidmaschine, Bandsäge gestalten den zu bearbeitenden Körper um, indem sie Theile desselben von dem Ganzen ablösen. Die Drahtstiftmaschine, das Walzwerk gruppiren die Theilchen des zu bearbeitenden Körpers anders, verbinden aber dies mit einem Transport desselben. Aehnliches geschieht bei der Kratzenbandmaschine. Die Mühle ihrerseits zerlegt den Körper, indem sie ihn transportirt, in kleine Theilchen. Alle aber haben eines oder mehrere Werkzeuge. Die oben beobachtete Undeutlichkeit in dem Hervortreten

derselben hängt zusammen mit dem Umstande, dass die Umformung mit Transport verbunden war. Sehen wir aber hiervon ab, so können wir nun die Maschinen hinsichtlich ihrer Zwecke in zwei grosse Klassen theilen, nämlich in:

I. Maschinen für Ortsänderung, ortsändernde oder transportirende Maschinen;

II. Maschinen für Formänderung, formändernde oder transformirende Maschinen.

Die Grenzen zwischen diesen beiden Klassen sind nicht ganz scharf, da wie wir sahen, manche Umformungen mit Transporten nothwendig verknüpft sind, manchmal auch, wie bei der Mühle, Transformirung und Transportirung nahezu gleich wesentlich auftreten. Jedenfalls aber haben die umformenden Maschinen eine Eigenschaft mehr als die ortsverändernden; diese letzteren sind also die einfacheren, weshalb sie oben vorangestellt wurden. In ihrer Zusammensetzung unterscheiden sich die Maschinen der beiden Klassen dadurch von einander, dass die formändernden das Werkzeug besitzen, die ortsändernden aber nicht.

Die bisherige Auffassung, nach welcher jede Maschine als wesentlichen Bestandtheil das Werkzeug besitzen sollte, hat also nur einen Theil der Maschinen, nur die eine der beiden Hauptklassen derselben getroffen. Somit ist der Begriff des Werkzeuges nicht ein eigentlicher Stammbegriff der Maschine, sondern nur ein zufälliges Merkmal derselben und kann daher als Grundlage des Verständnisses der vollständigen Maschine nicht dienen.

§. 131.

Kinematische Deutung des Werkzeuges.

Nachdem wir festgestellt, was das Werkzeug in der Maschine nicht ist, stellt sich uns die Frage entgegen, welche kinematische Bedeutung dann das Werkzeug in der Klasse der formändernden Maschinen eigentlich habe, und welchen allgemeinen kinematischen Gesetzen dasselbe demzufolge unterliege.

Verfolgen wir, um dies zu erfahren, zunächst einmal die Thätigkeit des Werkzeuges bei einer bestimmten Maschine. Es sei die gewöhnliche Leitspindel-Drehbank. Auf einer solchen werde ein Eisenstab cylindrisch abgedreht. Der Drehmeissel ist in

den Drehstahlschlitten eingespannt und wird parallel der Drehbankspindel fortbewegt, während der abzudrehende Stab mit der im Umlauf befindlichen Drehbankspindel gekuppelt ist, aber ebenfalls umläuft, und zwar so, dass seine den Stichel berührenden Umfangstheilchen gegen die Schneide des Instrumentes anlaufen. Die Relativbewegung des Drehmeissels gegen den Stab ist die Normalschraubenbewegung, und zwar bewegt sich der Drehstichel genau so, wie ein Abschnitt oder Ausschnitt einer Normalschraubenmutter S^- gegen den, die Stelle der Schraubenspindel S^+ einnehmenden Eisenstab. Meissel und Stab haben nach unserer Kunstsprache die Bewegung des Paares $S^-_= S^+$. Dieses Paar selbst ist nicht von Anfang an vorhanden. Aber, indem der Meissel aus härterem Material gewählt ist als der Stab, drängt er bei seinem Fortschreiten diejenigen Theilchen des Stabumfanges weg, welche der von ihm umschriebenen Umschlussform S^+ nicht angehören. So entsteht auf demjenigen Theile des Stabes, welchen der Meissel überschritten hat, nothwendig das Element S^+, zu welchem der Meissel das zugehörige Element S^- in einem kleinen Ausschnitt an sich trägt. Mit dem abgedrehten Theil des Stabes bildet also der Meissel thatsächlich, z. B. auch, wenn man ihn rückwärts laufen lässt, ein Elementenpaar von der Formel $S^-_= S^+$. Die Elementenstützung zwischen Meissel und Stab ist dabei an sich nicht ausreichend (§. 18 ff.), allein der Mangel wird durch den Kettenschluss (§. 43), welcher in der Drehbank gegeben ist, ausgeglichen. Hierbei ist zu bemerken, dass der Drehmeissel von Haus aus bereits das Profil der Schraubenmutter S^- an sich trug, der Stab aber erst zur Annahme der Form S^+ gezwungen wurde. Die beiden Körper gehen also erst während der fortschreitenden Bewegung die Paarung $S^-_= S^+$ ein, sind aber nach Vollendung der Bewegung auch zu einem solchen Paare wirklich verbunden.

Ich sagte, dass der fertig werdende Stab von der Form S^+ sei. Dies tritt deutlich hervor bei dem Abdrehen aus dem Rauhen, dem sogenannten Abschruppen, wo dem Meissel eine spitzige Schneide gegeben wird. Später, wenn behufs des Glattdrehens oder Schlichtens das Meisselprofil als Stück einer Geraden, zur Achse Parallelen gestaltet wird, zeigt der entstehende Körper äusserlich die Form eines Cylinders (vergl. §. 15); er ist aber thatsächlich dennoch hinsichtlich seiner Paarung mit dem Meissel eine Schraube.

Was wir hier an der Drehbank bemerken, dass nämlich das

Werkzeug und der zu bearbeitende Körper zu einem Elementenpaar zusammentreten, finden wir auch an der Hobelmaschine und der Bandsäge, wo beidemal das Paar $P^{+}_{=}P^{-}$ erzeugt wird; ferner auch an der Schraubenschneidmaschine, wo sich das Paar $S^{+}_{=}S^{-}$ oder $S^{-}_{=}S^{+}$ bildet, ersteres beim Mutterschneiden, letzteres beim Bolzenschneiden. Jedesmal sehen wir, dass der zu bearbeitende Körper als kinematisches Element, als Theil eines kinematischen Kettengliedes oder als ganzes Kettenglied auftritt. Deutlich wird uns dies namentlich bei dem Beispiel der Schraubenschneidmaschine, wo in der Regel der durch die Maschine soeben erzeugt werdenden Schraube alsbald die Fortbewegung der Schneidkluppe überlassen, oder, besser gesagt, übertragen ist. Hieraus geht hervor, dass der zu bearbeitende Körper nicht als ausser der Maschine bestehend zu betrachten, sondern dass derselbe als in die Maschine eintretend, zu derselben gehörig aufzufassen ist. Wir wollen daher diesem Körper, von dem wir noch oft zu sprechen haben werden, einen besonderen Namen geben, und zwar ihn als das Werkstück bezeichnen.

Sahen wir in den vorgeführten Beispielen sich am Werkstück nur Umschlussformen oder Elemente aus niederen Paaren bilden, so lag das in der Art der betrachteten Maschine. Das höhere Paar oder die allgemeine Umhüllungsform kommt ebensowohl vor. Beim Walzwerk z. B. paart sich das Werkstück mit den beiden Walzen je zu dem höheren Paare R^{+}, P^{+}, wobei der Walzstab ein vollständiges Kettenglied wird. Bei der Wollkrempel zwingen die Kratzenhäkchen, mit welchen die Trommeln besetzt sind, die zwischen ihnen hindurchgeführten Wollfasern, aus der lockigen, verschlungenen Anordnung in die der parallelen Lagerung überzugehen, welche die Umhüllungsform der regelmässig gestellten Häkchen ist. Bei dem Mahlgang findet eine sehr verwickelte höhere Paarung zwischen dem Getreidekorn und den Steinen statt, wobei der Kraftschluss eine nicht unwesentliche Rolle spielt.

Somit geht aus unserer Analyse folgendes Gesetz hervor: Das Werkstück tritt bei der formändernden Maschine als ein Theil eines Kettengliedes oder als ganzes Kettenglied in die Maschine und geht mit dem Werkzeug eine kinematische Paarung oder Verkettung ein, bei welcher es vermöge geeigneter Materialbeschaffenheit des Werkzeuges seine ursprüngliche Form mit derjenigen Umhüllungs-

form vertauscht, welche seiner Paarung oder Verkettung mit dem Werkzeuge zukommt.

Dieses Gesetz ist frei von den Unklarheiten, welche sich der älteren Auffassung überall entgegenstellen. Zunächst sehen wir, dass die kinematische Kette der Maschine am Werkzeug oder am Arbeitspunkt nicht unterbrochen ist, sondern ihren ungestörten Verlauf daselbst behält. Die Kette ist dort nicht zu Ende; die Arbeitsstelle ist nur ein hinsichtlich des Zweckes der Maschine wichtiger, hervorragender Punkt [52]). Sodann finden auch hier mehrere Fragen, auf welche wir in §. 129 stiessen, ihre Beantwortung. Der Spinnfaden im Spinnstuhl ist als Glied der kinematischen Kette nothwendig der Träger von Kräften. Die Spindel, auf deren oberes Ende er sich aufwickelt, um alsbald wieder abzufallen, ist mit dem Faden an dieser Stelle zu einer höheren Paarung verbunden und wirkt als Werkzeug. Aber auch die Fasern des Fadens selbst wirken gegen einander als Werkzeuge. Denkt man sich der Einfachheit wegen nur zwei solcher geraden Fasern von der Spindelspitze Sp. zum Streckwerk St. hingespannt und nunmehr bei

Sp. St.

der Spindelspitze zunächst nur um 180° gedreht, so entsteht zuerst nur eine blosse Kreuzung der beiden Fasern, bei fortgesetzter

Sp. St.

Drehung aber müssen sich die beiden Fasern schraubenförmig um einander winden; jede Faser ist der andern gegenüber Werkzeug, die Schraubenform jeder einzelnen Faser die Umhüllungsform derselben gegen die andere Faser. Wir sehen hier, dass das Werkzeug nicht nothwendig härter sein muss als das Werkstück; auch bemerken wir, dass die Unterscheidung dieser beiden Stücke sich gelegentlich nicht durchführen lässt: unabänderlich aber bleibt der Satz stehen, dass das Werkstück als Glied der kinematischen Kette, oder als Theil einer solchen dem Ganzen angehört.

Ferner sehen wir auch hier, dass die beiden grossen Klassen, ortsändernde und formändernde Maschinen, hinsichtlich des Werkstückes einen wesentlichen Punkt gemeinsam haben. Wenn bei den ortsändernden Maschinen das Werkzeug der alten Auffassung verschwand, so bemerkten wir dafür, dass der zu befördernde Körper, das Werkstück, ein Theil der Maschine wurde, d. h. mit an-

deren Worten: auch bei den ortsändernden Maschinen ist das Werkstück ein Theil eines Kettengliedes oder ein ganzes Glied der kinematischen Kette. In diesem Punkte stimmen also die Maschinen beider Klassen vollständig mit einander überein.

Endlich geht aus dem Gesetze vom Werkzeug noch ein wichtiger Lehrsatz hervor, welcher in der angewandten Kinematik und in der mechanischen Technologie die formenreichsten Anwendungen findet. Dieser allgemeine Lehrsatz lautet: dem Werkzeug einer Maschine ist behufs Erzeugung eines Körpers von gegebener Form die Umhüllungsform der letzteren zur Form zu geben. Um diese Umhüllungsform zu bestimmen, bedarf es der Kenntniss, beziehungsweise vorherigen Feststellung der relativen Bewegung des Werkzeuges gegen das Werkstück; die Aufgabe kann deshalb erstens auf verschiedene Weise gelöst werden, und umschliesst zweitens in der Regel mehrere andere Aufgaben zur gleichen Zeit. Jedenfalls aber ist es von grosser Wichtigkeit, die Gesammtheit der zwischen dem Werkzeug und dem Werkstück herzustellenden kinematischen Beziehungen in einen einzigen bestimmten Begriff gefasst überschauen zu können.

§. 132.

Der Rezeptor.

Hinsichtlich des als Rezeptor aufgefassten Körpers sind die Anschauungen auf ein engeres Gebiet beschränkt gewesen, als es beim Werkzeug der Fall war, indem die Zahl der motorischen Körper sich nicht sehr gross zeigt. Man führt gemeiniglich an: Wasser, Wind, Dampf, Gase anderer Art, Gewichte, Federn, belebte Wesen. Nach der bisherigen Anschauung ist die vollständige Maschine mit dem Rezeptor als demjenigen Theile ausgerüstet, welcher dem motorischen Körper die von diesem getragene Naturkraft auf geeignete Weise entzieht. Es ist wichtig, die verschiedenen Arten der Aufeinanderwirkung von Motor und Rezeptor, welche in den angeführten Fällen stattfindet, auf ihre Eigenthümlichkeit hin zu prüfen.

Betrachten wir zunächst den Rezeptor bei den Wasserrädern und Turbinen, so finden wir denselben deutlich in dem Schaufel-

rade oder insbesondere den Schaufeln ausgeprägt. Früher angestellte Betrachtungen (§. 43) haben aber schon gezeigt, dass das Rad nicht ein für sich bestehender und für sich brauchbarer Apparat ist, sondern dass seine Schaufeln als kinematische Elemente mit dem Wasser eine kinematische Paarung eingehen, während andererseits das Wasser mit dem Gerinne, beziehungsweise der Röhrenleitung, gepaart ist. Somit ist der treibende Körper hier ohne Frage ein Glied der kinematischen Kette. Ganz dieselbe Bemerkung machen wir bei der andern wichtigen Wasserkraftmaschine, der Wassersäulenmaschine, in ihren verschiedenartigen Formen. Auch hier tritt das Wasser bei seiner Vereinigung mit dem Kolben und in Berührung mit dem Cylinder, geleitet von den Steuerungsventilen, als Glied in die kinematische Kette ein, und zwar in einen Mechanismus, welchen wir weiter oben (§. 126) bereits allgemein untersucht und als Schaltwerk erkannt haben. Vom Rezeptor könnte man hier nun etwa sagen, dass er durch den Kolben, oder durch den Cylinder, oder durch beide zugleich, oder aber durch beide einschliesslich der Steuerung vertreten werde; eine logisch genaue Bestimmung desselben gelingt aber nicht.

Die Benutzung des Windes geschieht, obwohl unter Kraftschluss des treibenden Druckkraftorgans, doch ebenfalls so, dass das Flügelrad mit dem Windrade eine kinematische Paarung eingeht, welche diejenige eines höheren Schraubenpaares ist.

Der Wasserdampf und die übrigen durch ihre Expansionskraft wirkenden Gase lassen wir theils in Kolbenmaschinen, theils, obwohl seltener, in turbinenähnlichen Einrichtungen zur Wirkung kommen, stets aber so, dass der treibende Körper mit dem Rezeptor eine kinematische Paarung oder Verkettung eingeht, in welcher schwer ein einzelnes Stück mit Bestimmtheit als der Rezeptor zu bezeichnen ist.

Die vier besprochenen Motoren: Wasser, Wind, Dampf und andere Gase haben das Gemeinsame, dass sie Druckkraftorgane sind. Suchen wir einen Ueberblick über die ganze Reihe der mit ihnen gebildeten Kraftmaschinen zu gewinnen, sie nach ihren Eigenthümlichkeiten zu ordnen, so tritt uns eine Thatsache entgegen, welche wir nicht unbeachtet lassen dürfen. In der Benutzungsweise des Motors finden wir nämlich zwei deutlich unterscheidbare Methoden neben einander im Gebrauch, welchen zwei Gattungen von Kraftmaschinen entsprechen. Ueber die eine derselben, welche

die „Kolbenmaschinen“ umfasst, haben wir bereits im vorigen Kapitel den allgemeinen Aufschluss erlangt, dass sie Schaltwerke, und zwar wie wir uns ausdrückten: rückläufige Schaltwerke sind. Die andere Gattung, welcher das Wasserrad, die Turbine, das Windrad etc. angehören, zeigen die Eigenthümlichkeit einer stetigen oder sich der Stetigkeit sehr annähernden Bewegung des Flüssigkeitsstromes. Dieser letztere wirkt nicht absatzweise, ruckweise, oder periodisch, sondern unter stetigem Eintritt an der einen Seite, stetigem Austritt an der anderen, ersetzbar etwa durch die Zahnstange beim Wasserrad (siehe §. 61), durch die Schraube bei einzelnen Turbinen und beim Windrade, durch ein hier auflaufendes, dort ablaufendes Seil bei anderen Turbinen, u. s. w. Wir können den Unterschied zwischen den beiden Maschinengattungen, in Anbetracht dieser karakteristischen Bewegungsformen, wohl dadurch deutlich hervorheben, dass wir gegenüber den als Schaltwerke wirkenden Mechanismen diejenigen mit stetiger Bewegung des wichtigen Organes Laufwerke nennen. In Schaltwerke und Laufwerke lassen sich alle für den Betrieb durch Druckkraftorgane bestimmten Kraftmaschinen trennen.

Werfen wir hier einen Blick zurück auf die Kurbelkapselwerke und die Kapselräderwerke, welche wir früher besprachen*), so bemerken wir, dass dieselben theils der einen, theils der anderen Gattung angehören. Die aus den Kurbelkapselwerken gebildeten Maschinen, und zwar sowohl Pumpen als Kraftmaschinen, sind theils Schaltwerke, theils Laufwerke, nicht ohne dass auch vermittelnde Uebergänge zwischen beiden Gattungen aufzuweisen wären; die Kapselräderwerke sind wesentlich eigentliche Laufwerke. Die Laufwerke bieten für die fernere machinale Verwendung in sehr vielen Fällen eine grosse Bequemlichkeit in dem Umstande dar, dass ihre rotirenden Bewegungen unmittelbar benutzt werden können. Das Bestreben zur Herstellung der rotirenden Dampfmaschine und Pumpe ist dasjenige, die Schaltwerke für Druckkraftorgane in Laufwerke umzugestalten, oder jene durch diese zu ersetzen.

Für den Betrieb durch Gewichte kann uns die gewöhnliche Wanduhr als Beispiel dienen. An derselben tritt deutlich, und wie es scheint unzweideutig, das Treibgewicht als Motor hervor, als Rezeptor hat man darnach wohl die Schnur oder Kette, an

*) Kap. IX und X.

welcher es hängt, anzusehen. Prüft man indessen diese Frage etwas schärfer, so trifft man alsbald auf ähnliche Bedenken, wie wir deren oben (§. 130) beim Kran hinsichtlich des Werkzeuges begegneten. Denken wir uns nämlich einmal das Gewicht weggenommen, zugleich aber die Schnur oder Kette um so viel verlängert, dass das zugefügte Stück so schwer wäre wie das abgenommene Gewicht, so würde die Uhr durch die Schnur allein weiter betrieben werden können. Hieraus aber geht hervor, dass das Gewicht nicht der Motor sein kann, da es beseitigt ist, die Schnur aber auch nicht der Rezeptor, da sie ihre Qualität nicht verändert hat. Wohl aber ist die Schnur ein Glied der kinematischen Kette und ist gepaart mit der Trommel, auf welche sie beim Aufziehen gewickelt worden. Das also hat der Gewichtsbetrieb mit den oben besprochenen Betriebsarten gemein, dass derjenige Körper, welcher als Träger der treibenden Kraft dient, der kinematischen Kette als Glied oder Element angehört.

Die gespannte Feder, welche zum Betrieb der Uhr und anderer kleiner Maschinen gebraucht wird, hat sich schon weiter oben (§. 44) als ein kinematisches Element, beziehungsweise Kettenglied herausgestellt. Auch hier wird der bisherigen Anschauung der Nachweis des eigentlichen Rezeptors schwer, wenn nicht unmöglich; unmittelbar aber tritt uns die Einreihung des Kraftträgers in die kinematische Kette, welche die Maschine bildet, entgegen.

Während sich dieses letztere als allgemeine Eigenschaft aller Kraftmaschinen herausgestellt hat, können wir in einer anderen Beziehung eine Unterscheidbarkeit in zwei allgemeine Klassen aus der angestellten Prüfung folgern. Bei allen denjenigen Kraftmaschinen nämlich, welche ein Druckkraftorgan zum Motor haben, findet in den Kanälen, Röhren, Ventilen, Schaufelräumen u. s. w. eine Formverwandlung statt, welche mitunter, wie bei der Dampfmaschine, sehr weit geht, auch mehr oder weniger mit einer Ortsveränderung verbunden ist. Letztere fällt indessen bei dem Betrieb mittelst des bildsamen Elementes Feder weg. Bei dem Gewichtsbetrieb dagegen findet nur eine Ortsänderung statt, während die Formverwandlung unterbleibt. Offenbar liegt uns hier derselbe spezifische Unterschied vor, welchen wir oben, §. 130, hinsichtlich des Zweckes der Maschinen, oder wie wir nunmehr sagen können: hinsichtlich der Behandlung des Werkstückes vorfanden. Wir können somit auch hinsichtlich des Vorgan-

ges, welchem der Motor in den Maschinen unterworfen wird, dieselben in

ortsändernde Maschinen und
formändernde Maschinen

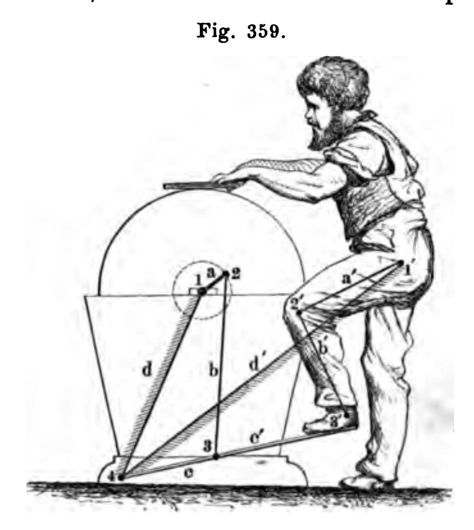
eintheilen. Dass auf der Seite der ortsändernden Maschinen die Zahl so gering ist, thut nichts zur Sache; die Unterscheidung an sich ist bedeutungsvoll, weil sie eine scheinbar bestehende Unvereinbarkeit der Kraftmaschinen und Arbeitsmaschinen aufhebt, auch fernerhin zur Erklärung bemerkenswerther Analogien dienen wird.

Wenden wir uns nun endlich zu den belebten Motoren, also zu den Anwendungen der Muskelkraft von Menschen und Thieren zum Maschinenbetrieb, und zwar zuerst zu der durch Menschenkraft bewegten Maschine. Die bisher übliche Auffassung ist die, dass an der letzteren ein Rezeptor von schicklicher Form und Bewegungsart angebracht werde, auf welchen der treibende Körpertheil, die Hand, der Arm, der Fuss, u. s. w. einwirke. So sei z. B. bei dem mittelst Kurbel und Tretschemel betriebenen Schleifstein im Tretschemel der Rezeptor, im Fuss oder Bein des Tretenden der Motor zu erblicken. Dies ist allerdings der äusserlich zu beobachtende Vorgang; allein der innere tiefere Zusammenhang ist ein ganz anderer. Ohne Zweifel würde der Schleifstein auch vermöge einer blossen Verlängerung des Kurbelzapfens durch Drehen mit der Hand bewegt werden können; auch ein um den Kurbelzapfen geschlungenes Seil, an welchem der Arbeiter mit der Hand abwechselnd zöge, würde die Betreibung vermitteln können *). Der Tretschemel ist also nicht ein unentbehrliches Vermittlungsglied. Das aber haben alle drei Betreibungsweisen gemein: dass der menschliche Körper mit den Theilen der Maschine eine kinematische Verkettung eingeht. Diese Verkettung kann unter Umständen sehr verwickelt sein; im vorliegenden Falle können wir sie indessen mit einiger Genauigkeit sogar angeben. Zunächst bildet, Fig. 359, die Kurbel a der Schleifsteinachse mit der Koppel b, dem Tretschemel c und dem Gestell d das uns bekannte Getriebe $(C''_4)^d$, welchem wir oben (§. 65) den Namen rotirende Schubkurbel gaben. Dieses Getriebe soll so verwendet werden, dass c der krafteinleitende Theil wird, die bestimmte For-

*) Wie z. B. der kalmückische Priester das Gebetrad, die japanische Bäuerin den Seidenhaspel treibt.

mel also lautet: $(C_4'')^{\frac{d}{c}}$. Indem nun der Arbeiter seinen Fuss auf die Verlängerung c' der Schwinge c setzt, und indem wir annehmen, dass der Arbeiter den Mittelpunkt 1′ seines Hüftgelenkes nicht aus seiner Lage bringe, bildet er aus seinem Oberschenkel a', seinem Unterschenkel b' und dem Tretschemel $c' = 4.3'$ die drei Glieder: Kurbel, Koppel und Schwinge einer zweiten rotirenden Schubkurbel $(C_4'')^d$, zu deren Steg d' das ruhig stehende Bein des Arbeiters gehört. Hierbei bildet das Kniegelenk des bewegten Beines das Paar 2′, das Fussgelenk das Paar 3′. Das Gelenk 4 ist den beiden zu einem zusammengesetzten Mechanismus vereinigten Getrieben gemeinsam, ebenso vermöge der von dem Arbeiter künstlich innegehaltenen festen Stellung des ruhenden Beines der Steg $d = 4.1 = d' = 4.1'$. Durch das vom Willen geleitete Spiel seiner Muskelkräfte bringt der Tretende die erforderlichen oscillatorischen Bewegungen in den Gelenken 1′ und 2′, ja auch 3′ hervor, indem auch die Fussgelenkmuskeln allenfalls in Mitwirkung gezogen werden können. Hierbei rechnet der Fuss zu der Schwinge c'. Die besondere Formel des zweiten Mechanismus heisst demnach: $(C_4'')^{\frac{d}{a.b.c}}$, wobei aber zu beachten ist, dass das Glied a' nur oscillirend, nicht rotirend bewegt wird. Wir finden also, dass der Tretende aus seinem Körper einen für sich bestehenden Mechanismus bildet, welchen er in Verbindung, d. i. in kinematische Verkettung, mit dem zu betreibenden Mechanismus setzt.

Fig. 359.



Ein Arbeiter, welcher an einer Kurbel dreht, die er etwa mit beiden Händen unter grösserem Kraftaufwand umtreibt, verkettet den Mechanismus seiner Gliedmaassen in sehr verwickelter Weise mit dem Getriebe, zu welchem die Kurbel gehört. Die Willensherrschaft ermöglicht ihm dabei ein wechselvolles Wirken des

Kraftschlusses, welcher einzelne Gelenke in und ausser Gebrauch setzt, je nachdem das Bedürfniss eintritt.

Aehnlich verwickelt ist die Bewegung des menschlichen Körpers im Tretrade, noch mehr die des Zugthieres am Göpel u. s. w., immer aber ist das Wesen der Vereinigung des animalischen Körpers mit der Maschine das oben hervorgehobene der kinematischen Verkettung. Hierbei ist das Wesen des Rezeptors, wie es bisher angenommen wurde, nicht mehr deutlich zu erkennen, wie denn überhaupt die angestellten Untersuchungen erwiesen haben, dass auch der Begriff Rezeptor nicht ein für die vollständige Maschine wesentlicher Stammbegriff ist.

§. 133.

Kinematische Deutung der vollständigen Maschine.

Wir haben gefunden, dass das „Werkzeug“, welches man bisher als einen wesentlichen Bestandtheil jeder Maschine ansah, bei der ganzen Hälfte der Maschinen nicht vorhanden ist. Sodann sahen wir, dass der zweite angeblich wesentliche Bestandtheil, der „Rezeptor“, ebenfalls in sehr vielen Fällen undefinirbar ist. Hiernach sind die Aussichten, den Begriff der „Transmission“ als einen für die Maschine wesentlichen zu retten, sehr gering. In der That lässt sich derselbe als überall ausscheidbar auch nicht nachweisen, wennschon in einzelnen Fällen die blosse einfache Bewegungsübertragung als einziger Zweck ausgedehnter Theilgruppen zu bezeichnen ist. Aber alle Glieder der kinematischen Kette übertragen mehr oder weniger Kräfte von einem Punkt der Maschine zum andern, alle können als die Vermittler zwischen der Triebkraft und den Widerständen angesehen werden, und es ist durchschnittlich nicht anzugeben, wo die Vermittlerrolle anfängt oder aufhört, sodass auch diese dritte Kategorie nicht aufrecht erhalten werden kann. Alle drei Kategorien: Rezeptor, Transmission und Werkzeug können in einer Maschine vorkommen und klar nachweisbar sein, sind aber nicht logisch als wesentliche Theile zu bezeichnen; sie rechnen zu den zufälligen Angehörigkeiten, für welche wir weiter unten eine andere Eintheilung zu besprechen haben werden.

Was aber unsere Untersuchungen überall ergeben haben, was stets als Grundeigenschaft sich aus den verhüllenden Nebenbegrif-



fen herausgeschält hat, ist: dass die vollständige Maschine eine geschlossene kinematische Kette ist. In derselben ist sowohl der treibende Körper, Motor oder „Treiber", wie wir ihn nennen können, ein Kettenglied oder wenigstens ein kinematisches Element, als auch der zu bearbeitende Körper oder das Werkstück. Die Gesetze, nach welchen der Treiber seine Bewegungen in der Maschine vollzieht, sind ihrem allgemeinen Wesen nach dieselben, nach welchen das Werkstück und das allfällig vorhandene Werkzeug dies thut, sie sind dieselben, nach welchen alle Relativbewegungen zwischen den kinematischen Elementen und Kettengliedern der Maschine vor sich gehen.

Nur eine einzige Unterscheidung schien sich eben noch als nothwendig herauszustellen, welche die Einfachheit des End-Urtheils zu beeinträchtigen droht. Es ist die Unterscheidung zwischen den formändernden und den ortsändernden Maschinen. Der zwischen denselben bestehen gebliebene Gegensatz verdient hier noch einer näheren Prüfung.

Wir fanden, dass die Paarung oder Verkettung zwischen dem Werkzeug (in der formändernden Maschine) und dem Werkstück eine solche sei, dass das Werkzeug dem Werkstück die Umhüllungsform der gegenseitigen Bewegung aufzwinge und diese Form als Resultat aus der Maschinenthätigkeit hervorgehen lasse; ganz dasselbe galt von dem Vorgange, welchem der Motor in den unter Formverwandlung wirkenden Kraftmaschinen unterliegt. Sehen wir aber auf diesen Umstand ein beliebiges Elementenpaar, niederer oder höherer Art, etwas näher an — sei es ein Zapfen im Zapfenlager, eine Schraube in der Schraubenmutter, ein Kolben im Dampfcylinder, ein Zahnrad im Eingriff mit seinem Partner — so bemerken wir überall, dass durch das Einwirken der gepaarten Elemente aufeinander Formänderungen am einen, andern oder an beiden entstehen. Diese Formänderungen sind zweierlei Art: vorübergehende, welche durch die unvermeidliche Nachgiebigkeit auch der festesten Körper bei Einwirkung der sensiblen Kräfte stattfinden, und bleibende, welche durch die Lostrennung kleiner Theilchen herbeigeführt werden. Auf die letzteren kommt es an: die Abnützung gestaltet die gepaarten Elemente allmählich um. Das Gesetz aber, nach welchem diese Umgestaltung stattfindet, ist das: dass sich die Elemente gegenseitig Umhüllungsformen der stattfindenden Relativbewegung ertheilen. Dieses Gesetz ist aber ganz dasselbe, welches für die Formverwandlung zwischen Werkzeug und Werk-



stück gilt. Im letzteren Falle suchen wir die Formverwandlung schnell herbeizuführen, sie ist der Zweck der eingeleiteten Zwangsbewegung. Im ersteren Falle, bei den die Kette bildenden, dauernd der Maschine zugetheilten Elementenpaaren, stört uns die Formverwandlung; wir suchen dieselbe auf das kleinste Maass einzuschränken. Beidemal ist sie aber vorhanden.

Es unterscheiden sich demnach die formändernden Vorgänge zwischen Werkzeug und Werkstück einerseits und den Elementen der übrigen Paare andererseits nicht der Art, sondern nur dem Grade nach. Ein spezifischer Unterschied findet zwischen denselben nicht statt.

Somit sehen wir denn, dass die vollständigen Maschinen alle ohne Ausnahme theoretisch eines und desselben Gesetzes sind. Hiermit sind wir aber zugleich zu einer Erklärung gelangt, von welcher aus wir eigentlich unsere ganze Untersuchung begannen, nämlich zu der in §. 1 gegebenen Definition der Maschine, welche hier ihrem Wortlaute nach wiederholt werden möge:

> Eine Maschine ist eine Verbindung von widerstandsfähigen Körpern, welche so eingerichtet ist, dass mittelst ihrer mechanische Naturkräfte genöthigt werden können, unter bestimmten Bewegungen zu wirken.

Die hierin erwähnte „Einrichtung“ der Körperverbindung ist die kinematische Verkettung. Bewegung kommt in die Maschine dadurch, dass Theile der kinematischen Kette in eine solche Lage gebracht werden, welche einer verfügbaren, auf sie wirkenden mechanischen Naturkraft gegenüber unhaltbar ist. Demzufolge tritt Bewegung ein, welche aber wegen der angewandten Verkettung eine bestimmte wird. Diese wird in den bloss ortsändernden Maschinen zur Bewegung des Werkstückes in der durch die Verkettung vorgeschriebenen Weise benutzt; bei den formändernden Maschinen erzwingt sie die durch die Verkettung vorgeschriebene Formumwandlung. Beides, die blosse Fortbewegung in bestimmten Bahnen und nach bestimmtem Gesetze und die etwa gleichzeitig stattfindende Gestaltumwandlung sind Formen, in welchen die Maschine die verfügbare Naturkraft zu „wirken“ genöthigt hat.

Einige allgemeine Beispiele werden hier am Platze sein.

Bei der Gewichtsuhr, die wir aufziehen, bringen wir die beschwerte Schnur in die Lage, niedersinken und von der Trommel ablaufen zu können; hierbei ertheilt sie der ganzen kinematischen

Kette die dieser eigenthümliche Bewegung. Die gewöhnliche Bauart der Gewichtsuhren bringt es mit sich, dass die Uhr während des Aufziehens ausser Gang kommt, dass also das Herbeiführen der „unhaltbaren“ Lage der kinematischen Kette auf alle Theile derselben zurückwirkt. Grössere Thurmuhren sucht man vor dem daraus hervorgehenden Gangfehler zu schützen, indem ein mit einem Gewicht beschwerter Schalthebel vor dem Aufziehen in die Lage gebracht wird, niedersinken und dadurch treibend auf das Werk einwirken zu können. Es wird also hier, mit anderen Worten, eine zweite kinematische Kette während des Aufziehens der ersten in die erwähnte unhaltbare, d. i. zum Treiben geeignete Lage gebracht.

Bei dem unterschlächtigen Wasserrade geben wir durch Oeffnung des Schützens dem Druckkraftorgan Wasser Zutritt zu dem Rade, mit welchem es vermöge der Anordnung der Theile sofort eine kinematische Paarung eingeht, die aber alsbald Bewegung des Rades mit sich bringt, weil das Wasser von der Schwerkraft abwärts geführt wird. Bei der Schraubenturbine treibt die Schwerkraft das zugelassene Wasser, das sich mit der positiven Schraube, als welche das Rad erscheint, zu einem Schraubenpaar $S\underline{+}S^{-}$ paart, abwärts und treibt dadurch das Rad um.

Bei der Kolben-Dampfmaschine tritt die durch das Absperrventil nicht mehr gehinderte Dampfsäule alsbald in die Verkettung ein, welche, wie wir wissen (§. 126), die eines Schaltwerkes ist, und zwingt dieses letztere zu dem regelmässigen Spiel, welches durch die Verkettung, in der die Dampfsäule ein Glied ist, erzwungen wird. Die dauernde Zufuhr des treibenden Kettengliedes, der Dampfsäule, bewirken wir durch Einleitung und Erhaltung eines physikalischen Vorganges im Dampfkessel. Bei den Wassermaschinen bewirkt ein meteorologischer Vorgang die stete Erneuerung des verbrauchten Theiles der Aufschlagwassersäule, schafft gleichsam das abgelaufene Stück des treibenden Kettengliedes in stetem Kreislauf wieder nach oben.

Der in §. 129 erwähnte hydraulische Widder macht uns nun keine Schwierigkeiten mehr. Das Wasser ist in demselben mit den übrigen Theilen kinematisch verkettet, und zwar ebenfalls zu einem Schaltwerk. Dieses letztere ist, soweit es durch die zufliessende, von der Schwerkraft getriebene Wassersäule bewegt wird, rückläufig, dagegen soweit es einen Theil derselben Wassersäule in die Höhe führt, rechtläufig. Die Bildsamkeit des Druckkraftorganes Wasser gestattet diese seine Trennung in zwei gesondert

derte Ströme. Auch ist es hier gleichgültig und verstösst nirgend gegen die Definition, dass der Wasserstrom sowohl treibend, als auch getrieben, sowie vermittelnd wirkt. In allen angeführten Fällen aber sehen wir, dass der treibende Körper, Treiber oder Motor, als Glied in die kinematische Kette eintritt, entgegen der älteren Auffassung, welche ihn als ausser der Maschine stehend ansieht.

§. 134.

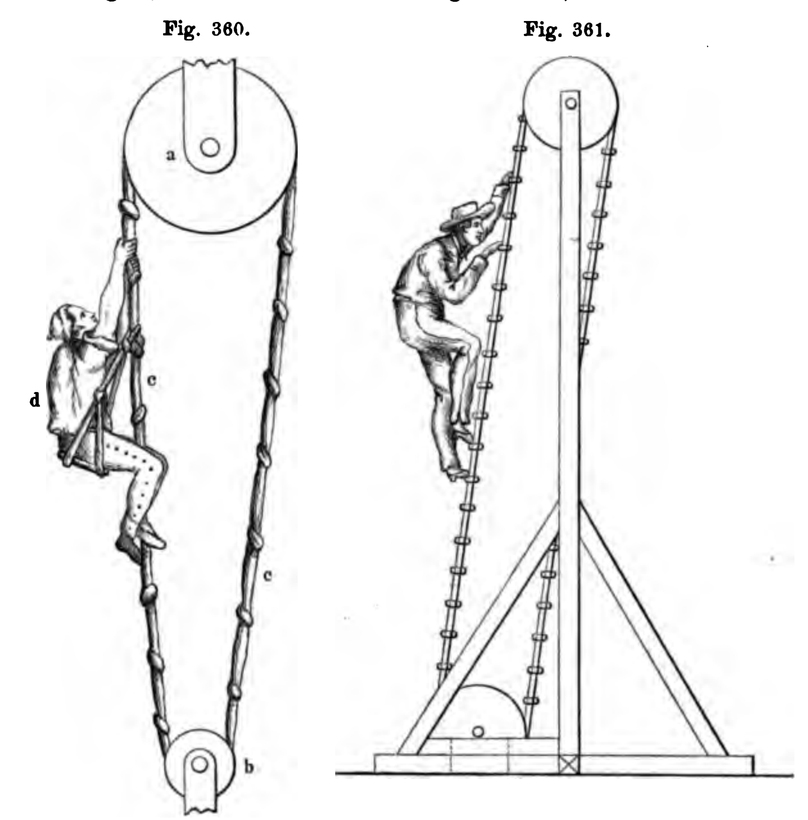
Kraftmaschinen und Arbeitsmaschinen.

Wir sind nunmehr auch in den Stand gesetzt, jene in §. 129 angeregte Frage beantworten zu können, ob die Dampfmaschine, das Wasserrad, die Turbine, ferner die Drehbank, die Hobelmaschine, der Spinnstuhl, der Kran, jedes für sich betrachtet vollständige Maschinen seien oder nicht.

Hinsichtlich der drei zuerst genannten Vorrichtungen können wir die Frage alsbald dahin beantworten, dass dieselben vollständige Maschinen sind; und zwar zählen sie zu den ortsändernden, eine bestimmte Bewegung an sich hervorrufenden Maschinen. Sie ertheilen irgend einem durch kinematische Verkettung ihnen angehörigen Maschinentheile Bewegung, welche zu einem noch zur Wahl stehenden Zwecke verwendet werden mag. Eine Dampfmaschine z. B. kann zum Betriebe der mannigfachsten Maschinenwerke benutzt werden, ohne dass deshalb ihr eigener Betrieb sich im mindesten zu ändern brauchte, oder Unterschiede aufwiese. Die Lokomobile kann als ein Beispiel von der Gebräuchlichkeit des fortwährenden Wechsels des Arbeitszweckes dienen. An die Stelle der Betriebsmaschine einer Fabrik kann jederzeit eine andere gesetzt werden, ohne dass der Fabrikbetrieb zu ändern wäre, wenn nur die neue Maschine die Triebwellenleitung mit derselben Kraft und Schnelligkeit bewegt, wie die alte. Die Maschine erfüllt also in diesen Fällen ihre Bestimmung dadurch, dass sie einem Glied der kinematischen Kette eine drehende Bewegung ertheilt oder die Punkte desselben einer Ortsänderung mit kreisförmigen Bahnen unterwirft. Indem man die Maschinen dieser Gattung als für sich bestehende vollständige Maschinen auffasst, denen man die Bezeichnung Kraftmaschinen, Umtriebsmaschinen oder Motoren gegeben hat, verfährt man mithin nicht bloss praktisch zweckmässig, sondern auch theoretisch vollkommen richtig.

Etwas weniger leicht zu beantworten scheint die Frage wegen Drehbank, Hobelmaschine, Spinnstuhl zu sein. Alle drei können wir so vorgerichtet annehmen, dass sie durch Riementrieb ihre Bewegung empfangen sollen, zu welchem Zwecke sie mit passenden Riemenscheiben ausgerüstet sein mögen. Wir können aber in der That sagen, dass sie nun vollständig werden, sobald der Treib-

Fig. 360. Fig. 361.



riemen mit den zum Anhaften genügenden Spannungen auf die Treibscheibe gelegt wird. Ob aber dieser Riemen endlos ist, oder nicht, ob er durch Gewichte, durch Menschenkraft wie beim Berthelot'schen Knotenseile, Fig. 360*), oder bei Borgnis' „biegsamer Leiter", Fig. 361, oder von einer Triebwellenleitung aus be-

*) Es arbeiten drei und mehr Menschen nebeneinander an ebenso vielen Seilen, deren Scheiben auf derselben Welle *a* sitzen. Siehe Borgnis, mécanique appliquée, composition des machines.

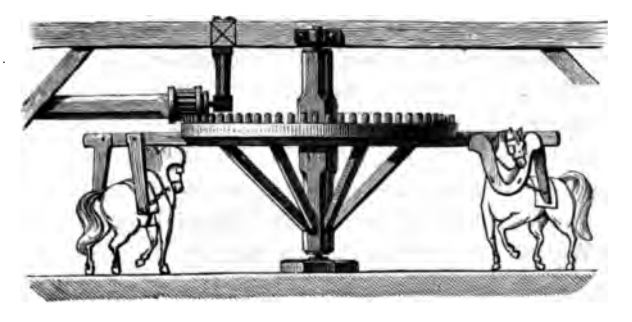
wegt wird, ist dann hinsichtlich der Verkettung und der Qualität der Wirkung gleichgültig. Der Riemen ist jedesmal der Treiber der Maschine, und zwar so gut, wie bei der Dampfmaschine der Dampf. Ebensowohl, wie es bei dieser letzteren Maschine gleichgültig wäre, ob der Betriebsdampf aus einem Kessel, oder ob er als Abdampf von einer anderen, mit hoher Spannung arbeitenden Dampfmaschine herkäme — und es gibt ja derartige mit Abdampf arbeitende Maschinen — ist es hier gleichgültig, durch welches Mittel der Riemen bewegt wird: er ist und bleibt der Treiber der Maschine. Gibt es doch auch in der modernen Bergwerksindustrie viele mittelst gepresster Luft betriebene Kraftmaschinen, welche ihre Betriebsluft irgend woher bekommen, sei es von einer hydraulischen Luftpresse, wie die des Mont-Cénis-Tunnels, sei es von einer Dampf-Luftprésse her: als Kraftmaschinen sind sie vollständig, sobald sie nur mit ihrem gasförmigen Motor versehen sind. Bei ihnen wird der Motor Luftsäule durch eine andere Kraftmaschine in Bewegung gesetzt. Die zwischen beide Kraftmaschinen gestemmte Luftsäule verhält sich aber ganz so, wie der Riemen zwischen Dampfmaschine und Spinnstuhl. Dass diese Aehnlichkeit eine nähere als die bloss figürliche ist, haben unsere Untersuchungen in §. 44 gezeigt.

Ob also nun eine Kraftmaschine auf eine andere Kraftmaschine folgt, oder ob die letztere ein die mechanische Arbeit unmittelbar verwerthendes Maschinenwerk umtreibt, ist an sich gleichbedeutend. Somit sind auch unsere obigen Maschinen, vom Treibriemen ab, diesen mit eingerechnet, vollständige Maschinen. Dasselbe gilt von einer für den Maschinenbetrieb vorgerichteten Pumpe, also einer nur transportirenden Maschine, von einem derartig vorgerichteten Webstuhl, einer Fräsmaschine, einer Bandsäge, welche theils form-, theils ortsändernde Maschinen sind, u. s. w., kurz von allen für irgend einen Kraftmaschinenbetrieb passend vorgerichteten Maschinen, welche man, wie wir sehen, sehr passend Arbeitsmaschinen, auch Werkzeugmaschinen, nennt, also sprachlich als selbstständige Maschinen auffasst. Der praktische Maschinenbauer, welcher seit lange, im Widerspruch mit dem strengen Schultheoretiker, die genannten Vorrichtungen als vollständige Maschinen ansieht, befindet sich deshalb in vollem, theoretisch erweisbarem Rechte.

Es sind uns nun noch diejenigen Arbeitsmaschinen übrig geblieben, welche durch animalische Kraft betrieben werden. Wir

sahen oben, dass bei diesen Maschinen der menschliche oder thierische Körper mit dem gegebenen Mechanismus eine mitunter sehr verwickelte kinematische Verkettung eingeht. Allerdings aber liegt die eigentliche Verwicklung in dem organischen Wesen, da die Herbeiführung geeigneter Zwangläufigkeiten in dessen Gliedergebäude ein eigenthümliches Zusammenwirken der durch den Willen geleiteten inneren Kräfte erfordert. Bedenken wir aber, dass in den angeführten Beispielen — Schleifstein mit Tretschemel, Kran u. s. w. — ebenso im Tretrade, bei der Handpumpe, dem Pferdegöpel u. s. f. der Mechanismus, welchen die animalische Kraft zu bewegen hat, einer geschlossenen kinematischen Kette angehört, so können wir die Beziehung des motorischen organischen Wesens zu dem Maschinenwerke ganz so wie dasjenige der Kraftmaschine zu der von ihr betriebenen Maschine ansehen. Das die Maschine betreibende organische Wesen ist als eine Kraftmaschine anzusehen, die irgend welche ihrer Theile, Hände, Arme, Füsse, so bewegt, dass sie als Treiber für die künstliche Maschine dienen. Hat man häufig schon die Lokomotive mit einem Ross verglichen und Dampfross genannt, so können wir unsererseits auch einmal den Vergleich umkehren und das Pferd als die Lokomotive am Pferdegöpel ansehen. In der That vollzieht auch das Pferd am Göpel, Fig. 362, unmittelbar keine andere Arbeit als die, sich

Fig. 362.



den Widerständen zum Trotz fortzubewegen. Dasselbe gilt von dem Mann im Tretrade und dem Kletterer auf Borgnis' Leiter; beide klettern nur immer nach oben, sie heben nur immer wieder ihre eigene Körperlast die Stufen oder Sprossen hinauf. Ihre Mitwirkung bei dem Arbeitsprozess ist nur eine physische nicht aber eine intellektuelle; sie brauchen das auf der betriebenen Maschine her-

zustellende Erzeugniss nicht irgendwie zu kennen, um die ihnen aufgegebene Leistung vollziehen zu können. Diese selbst besteht in nichts anderem, als worin auch diejenige einer leblosen Kraftmaschine, die den Mechanismus triebe, bestehen würde.

Wir können hiernach auch die durch Menschenhand und Thierkraft betriebenen Maschinen, sobald sie nur die Bedingung erfüllen, in sich geschlossene kinematische Ketten zu sein, als vollständige Maschinen ansehen, und bemerken, dass dieselben nicht von den durch Elementarkraft betriebenen Maschinen getrennt zu werden brauchen.

Hier tritt uns nun aber eine wichtige Frage entgegen, welche bisher nirgends als eine theoretische aufgefasst worden ist, obwohl sie darauf wohl Ansprüche hätte. Es ist diejenige wegen der Mitwirkung der animalischen Kraft, oder für gewöhnlich der Menschenhand, bei der ausübenden Thätigkeit der Maschine. Wenn die Maschinenlehre es sich angelegen sein liess, das lebende Wesen in seiner Eigenschaft als Motor, als Kraftmaschine, zu studiren und darauf mit einer unverkennbaren Breite einzugehen, so liesse sich daraus auch ableiten, dass sie das machinale Eingreifen der Menschenhand bei Fertigstellung des Erzeugnisses der Maschine nicht unbeachtet lassen dürfte, dass sie, mit anderen Worten, den Menschen auch in seiner Eigenschaft als Arbeitsmaschine hätte studiren müssen. Hiermit will ich nicht zu einer derartigen Erweiterung des Gebietes der Maschinenlehre auffordern, denn selbst die erstere Seite bedarf, wie wir sahen, einer von der bisherigen völlig verschiedenen Auffassung; jedoch ist es nothwendig, einige Hauptgesichtspunkte festzustellen, hier zunächst denjenigen, welcher über die Vollständigkeit der durch den Menschen in der Behandlung des Werkstückes unterstützten Maschine Aufschluss gibt.

Bei einzelnen Maschinen ist die Mitwirkung der Menschenhand am Werkstück durchaus wesentlich. So beim Spinnrade. Die Spinnerin muss einen wichtigen Theil der Formverwandlung, welche die Spinnfasern erfahren sollen, herbeiführen und regeln. Die Menschenhand fügt sich dabei dem Maschinengetriebe als Organ ein, indem sie als eine thatsächlich sehr verwickelte, von der Willenskraft geleitete kinematische Verkettung arbeitet. Es findet also hier ein Vorgang statt, welcher dem weiter oben, z. B. beim Schleifer, besprochenen dem Wesen nach völlig entsprechend ist. Indem obendrein das Spinnrad mit dem Fuss betrieben wird, nimmt

es zwiefach die machinale Mitwirkung des Menschen in Anspruch. Uebrigens findet bei unserem obigen Schleifer selbst ebenfalls eine derartige zwiefache Betheiligung der menschlichen Maschine an der Thätigkeit der leblosen statt.

Aehnlich die Nähmaschine. Bei einzelnen Arten derselben leitet die eine Hand der Arbeiterin die Betriebskraft ein, während die andere bei der Zeugführung mitwirkt; bei den gebräuchlichsten Arten sind bekanntlich die Füsse als Treiber, beide Hände aber bei der Leitung des Stoffes thätig, und zwar in einer oftmals sehr verwickelten Weise.

Ganz ausgesprochen machinal wirkt der Nähnadelschleifer am Schleifstein, welchem er zwar nicht die Betriebskraft zuführt, vor welchem er aber die dicht nebeneinandergelegten Nadelschäfte hin- und herbewegt, sie zwischen Daumen und den zwei nächsten Fingern regelmässig hin- und herrollend, und zwar derart, dass sie gegen den Schleifcylinder eine solche Umhüllungsform beschreiben, wie sie die sanft zulaufende konoidische Anspitzung der einzelnen Nadel zeigt.

Die neuere Technik hat dem Schleifer diese machinale Thätigkeit schon vielfach abgenommen, indem sie die Führung und Rollung der Nadelschäfte einem besonderen Mechanismus übergab, wobei sie dem Schleifstein die geeignete Umhüllungsform der Nadelzuspitzung zu geben nöthig fand. Auch die Nähmaschine wird für mancherlei Arbeiten sowohl am Betriebspunkt als an der Ausübungsstelle von leblosen Mechanismen bedient, und die Spinnerin hat nach langwierigen technischen Studien des Maschinenbauers allmählich in der Spinnmaschine ihre Vertretung gefunden. Nichtsdestoweniger haben wir den blossen Schleifstein, die Nähmaschine und das Spinnrad bereits als vollständige Maschinen anzusehen. Alle drei können zur Vollziehung bestimmter Arbeiten bereits dienen, ohne dass die Menschenhand bei der Fertigwirkung mit thätig ist. Der Schleifstein kann Stücke cylindrisch ausschleifen, die Nähmaschine kann bandförmige Stoffstreifen steppen, das Spinnrad den ihr in Luntenform vorgelegten Faden zwirnen und aufwickeln. Der Mensch fügt nur seine eigene Thätigkeit als diejenige einer vom Willen geleiteten Arbeitsmaschine an diejenige der gegebenen Maschine an; beide zusammen, die lebendige und die leblose Arbeitsmaschine, bringen dann eine Leistung hervor, welche nothwendig die der letzteren an Mannigfaltigkeit weit übertreffen kann.

§. 135.

Besondere Theile der vollständigen Maschine. Beschreibende Analysirung.

Die von uns vorgenommene Prüfung der Kategorien, welche die bisherige Mechaniker-Schule für den Inhalt der vollständigen Maschine aufgestellt hatte, ist dahin ausgeschlagen, dass wir dieselben nicht anerkennen können. Wir fanden, dass jede derselben in einer Reihe von Fällen nicht vorkommt, somit der allgemeinen Gültigkeit entbehrt, sodass wir schliesslich überall auf die abstrakte Vorstellung von der geschlossenen kinematischen Kette zurückverwiesen wurden, welche ausnahmslos gültig bleibt. Es soll nicht geläugnet werden, dass diese scharfe und strenge Abstraktion, wenn man vor der einzelnen Maschine steht, etwas Unbefriedigendes, man möchte sagen Trocknes hat, und namentlich den praktischen Maschinenbildner weniger zu fördern verspricht, als zu wünschen ist. Allerdings ist es ja von der grössten Wichtigkeit, in jedem denkbaren Falle, mag er noch so verwickelt sein, das strenge allgemeine Gesetz hinter sich zu wissen, ja auch im Hinblick auf dieses Gesetz gewisse hie und da vorkommende Misserfolge versuchter Kombinationen sofort aus einer Verletzung des Gesetzes vom Schluss der Kette erklären zu können. Jedoch bleibt immer der Wunsch übrig, nicht bloss das Allgemeine des Zusammenhangs der Maschine, sondern auch das Einzelne in derselben hinsichtlich seiner Bestimmung nach grösseren Gesichtslinien hin aufgehellt zu sehen. Und in dieser Beziehung haben die drei alten Kategorien immerhin einiges geleistet. Es war indessen auch keineswegs die Absicht, durch die obige Kritik diesem Verlangen entgegenzutreten. Es musste nur zuerst der Boden vollständig geebnet sein; wir mussten uns eine feste logische Unterlage verschaffen, auf welcher wir mit Sicherheit auch dem praktischen Bedürfniss entgegenzukommen vermögen. Nunmehr aber können wir uns wirklich dazu wenden, die Unterscheidungen zwischen gewissen Theilen und Gruppen von Theilen festzustellen, welche uns deutlich als einem allgemein angebbaren Zwecke innerhalb des Maschinengetriebes dienend entgegentreten.

Zunächst hat unsere Kritik nachgewiesen, dass zwei gewisse Theile bei einer grossen Mehrzahl der Maschine deutlich hervortreten, welche man bisher gerade ausserhalb der Maschine zu versetzen gewohnt war; es sind der Treiber und das Werkstück. Bei der Dampfmaschine erkennen wir als den Treiber alsbald den gespannten Dampf oder die Dampfsäule, weniger leicht allerdings das Werkstück, indem wir einmal die Schwungradwelle, ein anderes mal ein darauf befestigtes Zahnrad oder eine Riemscheibe als dasselbe anzusehen haben. Umgekehrt ist bei der Drehbank das Werkstück unmittelbar angebbar, dagegen der Treiber weniger leicht zu erkennen. Im allgemeinen wird bei der Kraftmaschine der Treiber, bei der Arbeitsmaschine das Werkstück das leichter nachweisbare Stück sein. Dies zeigt sich auch deutlich in den gebräuchlichen Benennungen der Maschinen, indem wir von Dampfmaschine, Wasserrad, Wassersäulenmaschine, ferner von Papiermaschine, Drahtstiftmaschine u. s. w. sprechen. Nebenbei bemerkt zeigt sich hier, wie die Maschinenpraxis Treiber und Werkstück zur Maschine rechnet, entgegen der bisherigen Theorie, welche dieselben nicht dazu zählte. Auf eigene Hand hat also die sprachliche Auffassung bereits Theorie getrieben und sich richtig leiten lassen.

Als ferneren wesentlichen Theil, oder richtiger als wesentliche Theilgruppe, müssen wir dasjenige Getriebe bezeichnen, welches die beabsichtigte Form- oder Ortsänderung, oder beides zugleich, an dem Treiber einerseits oder am Werkstück andererseits vermittelt. Wir unterscheiden z. B. die Kolben-Dampfmaschine von dem Dampf-Reaktionsrad, das Zellen-Wasserrad von der Wasser-Turbine, und ferner die Walzen-Walke von der Hammer-Walke, die Luppen-Quetsche von der Luppen-Mühle u. s. w. Wir wollen das Getriebe, welches diese hervorragende Rolle in jeder Maschine spielt, das Hauptgetriebe derselben nennen. Die angeführten Beispiele zeigen auch hier, dass die Maschinenpraxis durchschnittlich Werth auf die begriffliche Aussonderung des Hauptgetriebes legt, ja nach Feststellung der vorgängigen Generalisirung sich zuerst gerade dieser Spezialisirung zuwendet.

Bei der Angabe und genaueren Bestimmung des Hauptgetriebes einer Maschine werden wir von selbst derjenigen Forderung gerecht, welcher die bisherige Theorie durch Angabe des Rezeptors und Werkzeuges zu entsprechen suchte. In dem Hauptgetriebe steckt allemal der Rezeptor, wenn er überhaupt angebbar

ist, oder das Werkzeug, wenn es sich bezeichnen lässt, und kann denn auch, wenn man will, hervorgehoben werden. Ich glaube hier übrigens darauf hinweisen zu müssen, dass sich der praktische Mechaniker bisher im allgemeinen blutwenig um die genaue Bestimmung des Rezeptors bekümmert hat; dagegen schwebt ihm das, was wir soeben als das Hauptgetriebe ausgesondert haben, alsbald lebhaft in seiner Gesammtheit vor, sobald von der bezüglichen Maschinengattung gesprochen wird. Wir haben deshalb um so mehr Ursache, diesem Begriffe theoretisch eine feste Stellung anzuweisen.

In unserer gewöhnlichen direktwirkenden Kurbeldampfmaschine ist das Hauptgetriebe ein Schaltwerk, gebildet aus Kolben und Kapsel nebst den zugehörigen Ventileinrichtungen und dem Schubkurbelgetriebe $(C_3''P^{\perp})^{\frac{d}{c}}$. Bei dem gebräuchlichen Uferkran ist das Hauptgetriebe ein Laufwerk, gebildet aus Kette und Trommel nebst Rädergetriebe; bei gewissen Flachshechelmaschinen ist es ein Hechelwalzenpaar mit dem sie betreibenden Mechanismus; beim Selbstspinner setzt es sich aus Streckwerk und Spindel nebst den zugehörigen Betriebsmechanismen zusammen, u. s. w.

Viele Maschinen zeigen wie die letztangeführte die Einrichtung, dass in ihnen das Hauptgetriebe aus mehreren Theilen besteht, oder auch dass mehrere Hauptgetriebe vereinigt sind, welche nacheinander zur Wirkung gebracht werden und unter Umständen periodisch eine solche ausüben; ja auch selbst bei einfachen Hauptgetrieben findet häufig eine periodische Aufeinanderfolge einzelner Bewegungsphasen statt und wird durch besondere Mechanismen geregelt. Diese Mechanismen kann man als eine gesonderte Gruppe von Theilen zusammenfassen. Sie bilden das, was man bei vielen Maschinen bereits bisher die Steuerung nennt, und füglich bei allen, wo dergleichen vorkommt, so nennen kann. Die Steuerung ist hiernach die Vorrichtung zur Herbeiführung der Bewegungsfolge in der Maschine.

Bei der obigen Dampfmaschine ist die Steuerung das bekannte und auch längst so benannte Getriebe zur rechtzeitigen Bewegung der Ein- und Auslassventile*); bei der Eisenhobelmaschine mit Zahnstangenbetrieb bewirkt die Steuerung das periodische Umwechseln zwischen Hin- und Hergang des Hobeltisches; bei dem

*) Bélidor, Arch. hydraulique, 1729, Bd. II, S. 241, nennt die Steuerung bei der Dampfmaschine und der Wassersäulenmaschine noch deren „Regulator“.

Selbstspinner ist die Steuerung ein nicht wenig zusammengesetztes Getriebe, welches, wie Stamm zuerst theoretisch dargelegt hat*), die Aufeinanderfolge der vier Bewegungen: Ausfahrt, Nachdrehen, Abschlagen und Einfahrt, sich aneinander anschliessen lässt.

Innerhalb der Steuerung ist sehr häufig eine gewisse Vorkehrung zu bemerken, welche für die regelrechte Zuführung des zum Werkstück bestimmten Stoffes sorgt. Bei der Wollkrempel geschieht dies durch ein Lauftuch nebst zwei sogenannten Speisewalzen; bei Baumwoll-Vorbereitungsmaschinen dienen Stachelwalzen, Kämme, Zangen zur Zuführung der Rohbaumwolle; beim Mahlgang wendet man gelegentlich Riffelwalzen zum regelmässigen Zubringen der Getreidekörner an; bei der Nadelschleifmaschine bewirkt ein gekerbtes Speiserad die Zuführung der Nadelschäfte. Man kann diese Einrichtungen als Mechanismen zur Speisung zusammenfassen. Unter dieselben rechnet man auch mit Recht die Vorrichtungen zum Nachstellen der Stichel an Hobelmaschinen und Drehbänken, der Bohrer an Bohrmaschinen, und bekanntlich auch die Vorrichtungen, welche dem Dampfkessel das zu verdampfende Wasser zuführen.

Der Speisung gegenüber ist oftmals eine andere Transportvorrichtung in der Maschine besonders entwickelt, diejenige nämlich, welche aus der Arbeitsmaschine das umgearbeitete, fertig gestellte Werkstück herausführt, fortleitet, abliefert. Man kann die Einrichtung allgemein die Wegführungs- oder Austragevorrichtung, oder kürzer die Austragung nennen. Beispiele liefern: die Ziegelmaschine in dem Lauftuch, welches die fertig geformten Ziegel austrägt, die Wollkrempel, bei welcher eine Austragetrommel das fertige Vliess wegführt; dieselbe Maschine in ihren neuesten Abänderungen, wo eine zweite, sehr verwickelte Austragung die Rückstände aus den sogenannten Deckeln entfernt; die Nietnägelmaschine, bei welcher ein besonderer Mechanismus die fertigen Nieten ausschleudert, u. s. f. Speisung und Austragung bilden häufig gleichsam das Ein- und das Ausgangsthor der Maschine. Durch das eine tritt der rohe Werkstoff in das Getriebe hinein, und verlässt dasselbe als vollendetes Fabrikat durch das andere. Es sind begreiflicher Weise wesentlich die Arbeitsmaschinen, bei denen die Austragung zur vollen Entwicklung gelangt.

*) Siehe Stamm, Selfactor, übers. v. Hartig. Leipzig 1862.

Neben der Steuerung finden wir in sehr vielen vollständigen Maschinen eine zweite Gattung besonderer, für sich eigenartig ausgebildeter Mechanismen, welche dazu dienen, die Stärke der Zuführung des Treibstoffes oder des als Werkstück dienenden Stoffes zu regeln, also das Maass der in der Zeiteinheit zugeführten, oder auch abgeleiteten Menge der genannten Stoffe dem Bedürfniss anzupassen. Man kann diese Getriebe die Regulirung nennen. Während die Steuerung die Bewegungsfolge ordnet, steht hiernach der Regulirung zur Aufgabe, das Bewegungsmaass zu regeln. Beispiele dazu liefern bei den Kraftmaschinen in grosser Zahl die Regulatoren, als diejenigen Vorrichtungen, welche die Bewegung oder Zufuhr des Treibers und damit der ganzen Maschine in Bezug auf die Geschwindigkeit regeln. Regulatoren der Dampfmaschinen, Wasserräder, Turbinen u. s. w. sind in vielen bekannten Formen in Anwendung. Bei der kornischen Dampfmaschine ist der sogenannte Katarakt der Regulator; bei den Gehwerken der Uhren sind es die Hemmungen, bei welchen wir bekanntlich Pendelhemmungen, Unruhhemmungen u. s. f. unterscheiden. Ausserdem gibt es auch in vielen Arbeitsmaschinen Regulatoren. So z. B. beim Webstuhl, wo durch einen solchen die Zuführung der Kette, also des Werkstückes, von einem, Regulator genannten Mechanismus geregelt wird, bei der Papiermaschine, wo ein solcher den Zufluss des Papierzeuges gleichförmig hält; die Druckregulatoren in den Röhrenleitungen für Luft, Dampf, Gas regeln die Zufuhr dieser Flüssigkeiten, indem sie den Druck der abfliessenden Säule auf einer gewünschten Höhe erhalten, u. s. w.

Mitunter ist es erforderlich, und zwar gilt dies namentlich bei Arbeitsmaschinen, dass die Regulirung die Einwirkung des Treibers gelegentlich ganz aufhebe, namentlich wenn grobe Unregelmässigkeiten im Erzeugniss der Maschine einzutreten drohen. Die Regulirung wirkt dann in der besonderen Form, welche wir Abstellung nennen können. Abstellungen kommen in mancherlei Ausführungsweisen vor. Es seien angeführt: der Schusswächter beim Webstuhl, welcher die Maschine stille stellt, wenn der Einschlagfaden ausbleibt; der Fadenwächter bei den Rund- oder Flechtstühlen, welcher bei eintretendem Bruche eines der vielen zu vereinigenden Fäden die Stillstellung des Stuhles herbeiführt, die Vorrichtungen an hydraulischen Hebezeugen zum Abschliessen des Wasserzuflusses, wenn das zu hebende Stück eine gewisse

Höhenlage erreicht hat, die Abstellvorrichtung der hydraulischen Oelpresse u. s. w.

Regulirung und Steuerung stehen oftmals in naher Verbindung, indem, wie bei vielen modernen Dampfmaschinen, die Regulirung zunächst auf die Steuerung und durch deren Vermittlung auf den Gang des Treibers der Maschine einwirkt; doch lassen sich beide auch dann immerhin getrennt auffassen. Sind Steuerung und Regulirung, oder überhaupt Nebengetriebe vorhanden, so erfordert deren Betreibung häufig — obwohl nicht immer — Getriebetheile zur blossen Bewegungsübertragung, also Triebzeug oder Triebwerk, welches ausserdem ja auch zwischen Kraftmaschine und Arbeitsmaschine häufig eingeschaltet wird.

Indem wir absehen von anderen allenfalls noch ausscheidbaren Hülfsgetrieben der vollständigen Maschine, die sich indessen meistens ohne Zwang der einen oder anderen der behandelten Theilgruppen zuordnen lassen, sehen wir, um zu wiederholen, dass sich in sehr vielen Fällen neben

Treiber und Werkstück

a) das Hauptgetriebe, worin Rezeptor und Werkzeug vorkommen können,
b) die Steuerung mit den Unterabtheilungen Speisung und Austragung,
c) die Regulirung mit der Unterabtheilung Abstellung,
d) das Triebwerk oder die Transmission

als gesonderte Getriebe deutlich ausscheiden lassen. Wir können eine solche Sonderung, welche, wie man sieht, die allgemeinen Zwecke der in einer Maschine vereinigten Getriebe ins Auge fasst, die beschreibende Analysirung der Maschine nennen.

Hinsichtlich des Gesammtzweckes der Maschine leistet die oben nachgewiesene Trennbarkeit in orts- und formändernde Maschinen gute Dienste, namentlich in den Fällen, wo sich die Orts- oder Formänderung auf das Werkstück bezieht, während dieselbe, wenn sie den Treiber betrifft (§. 132), eine geringere praktische Bedeutung hat. Man kann die Eintheilung in der Maschinenlehre mit Nutzen verwenden; es sollte aber dabei nie übersehen werden dass der Unterschied nicht ein wesentlicher, sondern nur ein in logischer Hinsicht zufälliger und zwar ein Grades-Unterschied ist. Diesem letzteren Umstande zufolge bleibt die Bestimmung, ob eine Maschine der einen oder anderen Klasse angehöre, oftmals

schwankend. In jedem besonderen Falle bietet aber das Hauptgetriebe den nöthigen Anhalt für diese Klassifizirung, ein Grund mehr, dasselbe zuerst auszuscheiden.

Indem dieselbe im Vorstehenden in Bezug auf ihre Ziele genauer begrenzt worden ist, wurde im Grunde weniger etwas völlig Neues gesagt, als vielmehr nur ein in der heutigen Maschinenpraxis gelegentlich bereits praktisch befolgtes Verfahren zum Prinzip erhoben und in eine bestimmte Form gefasst. Denn schon häufig kann man finden, dass die Erläuterung mancher Maschinen ungefähr nach den obigen Gesichtspunkten geschieht. Ueberhaupt scheint es mir in hohem Grade empfehlenswerth, bei der Beschreibung einer Maschine die vorliegende beschreibende Analysirung vorerst vorzunehmen. An dieselbe kann sich dann füglich die vollständige oder abstrakte Analysirung, welche die Mechanismen in ihren Einzelheiten verfolgt, anschliessen. In vielen Fällen wird dies sogar entbehrlich sein, vor allem dann, wenn die einzelnen Mechanismen bereits für sich studirt und bekannt sind. Vergessen dürfen wir indessen durchweg zweierlei nicht: erstens, dass die oben aufgestellten Sammelbegriffe nicht durchstehende Kategorien sind und sein sollen, daher keineswegs in jeder vollständigen Maschine alle vorkommen müssen, und zweitens, dass, wie schon gesagt, noch besondere Einrichtungen für Nebenzwecke gelegentlich vorkommen können, welche nicht unter die aufgeführten Begriffe zu fallen brauchen.

§. 136.

Beispiele zur beschreibenden Analysirung vollständiger Maschinen.

Es wird nützlich sein, einige beschreibende Analysirungen beispielsweise vorzunehmen, um dabei noch genauer zeigen zu können, worin im einzelnen Falle die Aufgabe besteht, und wie weit die dabei erreichbaren Aufschlüsse gehen. Besprechen wir zuerst einige Kraftmaschinen.

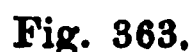
Ein mittelschlächtiges Wasserrad oder sog. Kropfrad, bestimmt zum Betrieb einer Fabrikanlage, hat zum Hauptgetriebe einen Mechanismus von der Formel $(C' C_{z\lambda} V_{\lambda})\frac{c}{b}$, wie in §. 62 ermittelt wurde, d. h. ein Zahnrad mit einer durch ein flüssiges Druckkraft-

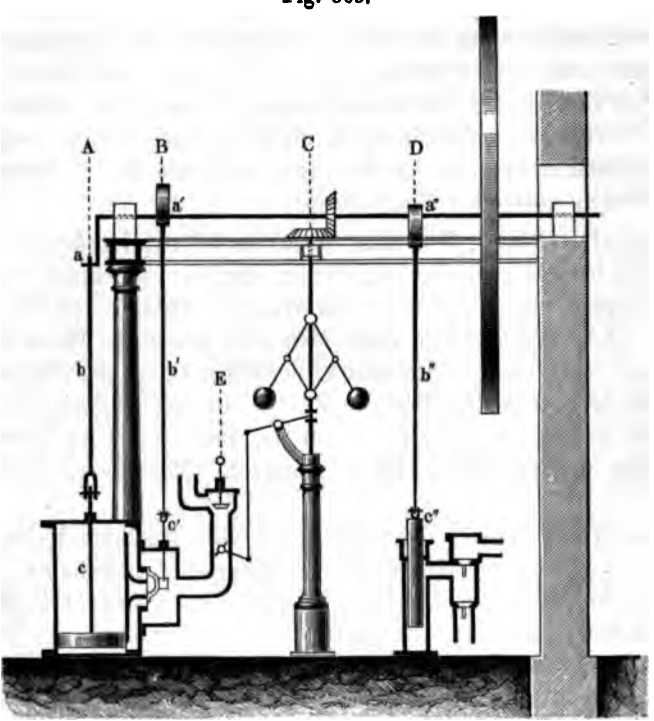
organ ersetzten Zahnstange, umgetrieben durch letztere, welche in dem Gestelle des Rades ihre Führung (Kropf-Gerinne) findet. Da die Bewegung stetig erfolgt, so ist das Hauptgetriebe ein Laufwerk; Treiber ist das Wasser. Eine Steuerung oder deren Unterabtheilung Speisevorrichtung ist nicht vorhanden; die Speisung des Rades mit dem zum Treiber verwendeten Stoff wird durch den geregelten Zufluss des Aufschlagwassers, welcher den meteorologischen Vorgängen verdankt wird, ohne äusseres Zuthun bewirkt. Eine Regulirung kann vorhanden sein, und zwar in der Form des den Schützen stellenden Regulators.

Jonvalturbine. Das Hauptgetriebe ist ein Laufwerk, und zwar ein Schraubengetriebe, in welchem die Schraubenmutter durch Wasser ersetzt ist. Treiber ist das Wasser. Steuerung nicht vorhanden. Regulirung kann vorhanden sein wie beim Wasserrade. Eine Abstellung kann angewandt sein, wie z. B. an der Turbinenanlage in den Stromschnellen des Rheins vor Schaffhausen, wo im Falle des Bruches des die Kraft auf das jenseitige Ufer leitenden Triebseiles der Regulator einen Schützen plötzlich niederfallen lässt.

Dampfmaschine. Gewählt werde eine Hochdruck-Dampfmaschine nach dem in Fig. 363 (a. f. S.) dargestellten Schema. Hier haben wir deutlich neben dem Hauptgetriebe eine ausgebildete Steuerung und desgleichen Regulirung. Treiber ist die Dampfsäule, Werkstück die Schwungradwelle. *A* Hauptgetriebe (in der Form des mit Zu- und Ausgangskanälen versehenen Cylinders mit Kolben, Querhaupt, Pleuelstange, Kurbel, Achse und Gestell) ein rückläufiges und zwar doppelt wirkendes Schaltwerk (§. 126), aus dem Getriebe $(C_3''P^{\perp})^{\frac{d}{c}}$ nebst dem Steuerungsschieber gebildet. Schalter ist die Dampfsäule, Schaltstück der Kolben. *B* Steuerung, aus dem Getriebe $(C_3''P^{\perp})^{\frac{d}{a}}$ in der Form von Exzentrik, Exzenterstange, Schieberstange und Gestell gebildet. Sie betreibt den Vertheilungsschieber, welcher eine Vereinigung der vier, die Schaltklinken vertretenden Ventile ist, deren das doppeltwirkende Schaltwerk bedarf; bei der Corliss-Maschine und ähnlichen Dampfmaschinen ist man bekanntlich wieder auf die Vereinzelung der vier Ventile zurückgegangen. *C* Regulirung, gebildet aus dem Schwungkugelregulator, dessen kinematische Zusammensetzung hier unerörtert bleiben darf, und dem Drosselventil nebst Zubehör an Triebwerk und Gestell.

Besondere Beachtung verdient die Speisepumpe *D*. Sie kann als Maschine für sich betrachtet werden, welche von der Dampf-


Fig. 363.



maschine als Kraftmaschine betrieben wird. Nehmen wir indessen an, dass die Dampfmaschine ihren eigenen Kessel habe, so können wir die Pumpe auch ganz zu ihr rechnen. Dann aber stellt sie jene Unterabtheilung der Steuerung dar, welche wir Speisung nennen. Die Speisevorrichtung ist hier ein Schaltwerk, und zwar ein rechtläufiges und einfach wirkendes, gebildet aus der Kette $(C''_3 P^{\perp})^{\frac{d}{-}}$ nebst Steig- und Saugventil als Schalt- und Sperrklinke. Dieselben werden durch das sich bewegende Schaltstück Wasser rechtzeitig gehoben und gesenkt. Wir haben also hier ein zweites Schaltwerk vor uns, welches sich von demjenigen des Hauptgetriebes ausser durch die Einfachwirkung dadurch unterscheidet, dass es keine Steuerung hat. Wir könnten uns aber ganz gut auch diese noch hinzudenken, z. B. die Speisepumpe als sogenannte Schieberpumpe ausgeführt annehmen. Alsdann würden wir die

merkwürdige Einrichtung vor uns haben, dass das Hauptgetriebe ein rückläufiges, das Speisungsgetriebe ein rechtläufiges Schaltwerk wäre, und dass beide mit geeigneten Steuerungsgetrieben versehen wären. Im vorliegenden Falle bliebe noch der Unterschied, dass die Pumpe ein einfach wirkendes, das Hauptgetriebe aber ein doppelt wirkendes Schaltwerk wäre, sowie dass die Dampfsäule gasförmig, die Wassersäule aber tropfbar flüssig ist. Aber auch diese Verschiedenheiten könnten wir uns noch hinwegdenken. Dann stiessen wir auf die bemerkenswerthe Frage, warum von zwei gleichartigen Schaltwerken das eine rechtläufig, das andere rückläufig ist, obwohl beide mit derselben Drucksäule (hier durch den Dampfkessel vertreten) in Verkehr stehen. Allgemeiner noch wäre die Frage dahin zu stellen, unter welchen Umständen ein gesteuertes Schaltwerk rechtläufig oder rückläufig wird. Die Antwort ist die, dass es rechtläufig wird, wenn die in diesem Sinne treibende Kraft die grössere ist, rückläufig im umgekehrten Falle. Das Hauptgetriebe, Dampfkolben und Anhang, wird durch die Dampfsäule rückläufig (im Sinne des Schaltwerkes) getrieben, weil die von dem Dampf geäusserte Kraft grösser ist, als die seitens der Kurbel geleisteten Widerstände; das in der Pumpe gegebene Schaltwerk aber wird rechtläufig betrieben, weil hier die Kraft zum Umtreiben der Kurbel (des Exzentriks a'') grösser ist, als die seitens des Pumpenkolbens entgegen geäusserte Kraft*). Wäre zu irgend einer Zeit die seitens der Kurbel a auf die Pleuelstange durchschnittlich ausgeübte Kraft grösser, als die seitens des Dampfkolbens entgegengestellte, so müsste die Maschine rückwärts laufen, d. h. das Schaltwerk als solches würde rechtläufig werden, den im Cylinder vorhandenen Dampf zunächst in den Kessel zurückpumpen und darauf die durch das bisherige Auslassrohr herbeiströmende Luft ebendahin treiben. Beispiele von diesem Vorgange erleben wir täglich bei der Lokomotive, und zwar beim Fahren mit Gegendampf.

Indem die Steuerung dem Schaltwerke, wie wir sahen, die Eigenschaft verleiht, entweder rechtläufig oder rückläufig zu wirken, je nachdem das Verhältniss der angreifenden Kräfte es bedingt, gibt sie dem Schaltwerke diejenige Beweglichkeit, welche

---

*) Ich behalte mir vor, diese interessante Frage und andere, die sich unmittelbar daran anschliessen, an einem anderen Orte ausführlich zu behandeln.

dem Laufwerke ohne weiteres Zuthun bereits zukommt. Die Steuerung gleicht also einen der zwischen dem Schaltgetriebe und dem Laufgetriebe bestehenden Unterschiede aus, indem sie die Eintriebigkeit (s. §. 41) des Schaltgetriebes aufhebt.

Behufs Stillstellung der Maschine wird die Dampfsäule vermittelst des Absperrventils *E* unterbrochen. Dasselbe bildet mit seinem Stellzeug einen besonderen, und zwar für den Handbetrieb bestimmten Mechanismus, in welchem wir einen Abstellmechanismus vor uns haben; er gehört somit zur Regulirung. Alles in allem haben wir somit an unserer Dampfmaschine, indem wir von den Nebentheilen an Schmierhähnen, Stellkeilen und dergleichen absehen: ein Hauptgetriebe, ein Steuerungsgetriebe, ein Getriebe für Speisung, eine selbstthätige Regulirung und eine Handregulirung, im Ganzen fünf Mechanismen, vorgefunden.

Indem wir zu den Arbeitsmaschinen übergehen wollen, betrachten wir zuerst einen gewöhnlichen Uferkran mit drehbarem Auslader. An demselben finden wir alsbald zwei Hauptgetriebe, die unabhängig von einander durch Menschenkraft betrieben werden, nämlich das Räderwerk nebst Kettentrommel und Leitscheiben zum Aufwinden der Last, und sodann ein Rädergetriebe zum Drehen des Krans um seinen Pfosten. Eine Steuerung ist nicht vorhanden, wohl aber eine Regulirung, und zwar in der Form der Bremse, mittelst welcher man die gehobene Last langsam niedersinken lassen kann. Sodann ist noch das Sperrwerk zu beachten. Dasselbe bildet einen Abstellungsmechanismus, indem es unbeabsichtigtes Niedergehen der Last verhindert. Es gehört somit zur Regulirung, arbeitet aber selbstthätig, steht übrigens in Abhängigkeit von dem ersten Hauptgetriebe.

Die Wanduhr mit Geh- und Schlagwerk besitzt zwei Hauptgetriebe, das erste für den Zeigerbetrieb, das andere für die Zeichengebung mittelst des Hammers. Beide Getriebe haben in der Regel je ihren besonderen Treiber in der Form beschwerter Schnuren oder beschwerter loser Rollen, stehen aber mit einander in enger kinematischer Verbindung. Das Gehwerk ist ein zusammengesetztes Räderwerk. Sein Gang ist von einem Regulirungsgetriebe abhängig, als welches sich die Hemmung — im vorliegenden Falle sei sie eine Pendelhemmung — darstellt. Wir haben schon in §. 121 gesehen, dass die Uhrhemmungen Schaltwerke sind, welche durch periodische Auslösung von Gesperren wirken. In dem Schlagrade nebst zugehörigem Hebelwerk haben wir die Steuerung

der Maschine vor uns. Durch die Steuerung ist die über eine Umdrehung des Stundenrades ausgedehnte Bewegungsfolge des Schlagwerkes so geordnet, dass z. B. nach jeder Zwölftel-Drehung ein Hammerschlag für die halben Stunden und mitten zwischen diesen Schlägen in arithmetischer Zunahme von 1 bis 12 die sogenannten Stundenschläge stattfinden. Die vom Gehwerk betriebene Steuerung bewirkt zunächst im Schlagwerke periodisch die Auslösung eines Gesperres, worauf das Hammergetriebe in Thätigkeit kommt. Damit diese letztere gleichförmig erfolgt, ist dem Schlagwerk ein besonderer Regulator in der Form des Windflügelwerkes beigegeben. Die Trommeln für die Treibschnüre sind beide mit laufenden Gesperren auf ihre Achsen gesetzt, so dass sie von der Hand rückwärts bewegt, und dadurch die Treibgewichte nach dem Ablaufen wieder in die Lage gebracht werden können, aufs neue zu wirken. Wir haben in diesen Gesperren nichts anderes als Hilfsgetriebe zur Speisung der Maschine mit dem Treiber vor uns. Endlich ist noch ein von der Hand stellbarer Hebel vorhanden, mittelst dessen man das Schlagwerk jederzeit in Wirksamkeit setzen oder auslösen kann; dieser Auslösungshebel nebst Zubehör ist demnach ein von der Hand beweglicher Steuerungsmechanismus. — Zählen wir die in der Uhr vorgefundenen Mechanismen kurz auf, so haben wir: zwei Hauptgetriebe, eine selbstthätige Steuerung, eine Handsteuerung, zwei Speisevorrichtungen für Handbetrieb und zwei Regulirungsgetriebe, im Ganzen acht Mechanismen, von denen fünf selbstthätig, drei auf den Betrieb durch Menschenhand angewiesen sind.

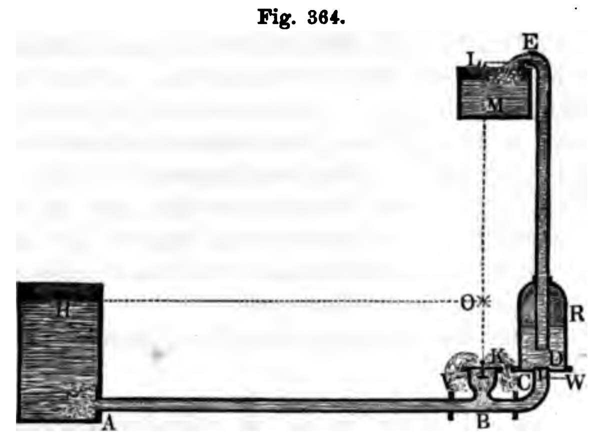
Das Sägegatter, von irgend einer Kraftmaschine aus durch Riementrieb bewegt, bietet zunächst sein Hauptgetriebe in dem von der Kurbelachse aus mittelst Pleuelstangen betriebenen Gattermechanismus, gebildet aus $(C_3''P^{\perp})^{\frac{d}{a}}$, dar. In dem Schieber c ist das Werkzeug, das Sägenblatt, befestigt. Werkstück ist der zu schneidende Block oder Stamm. Gegen denselben beschreibt das Sägenblatt unter Wegtreibung der Materialtheile mittelst der Zähne seine Umhüllungsform, den Sägenschnitt, wofern ihm nach jedem Hube neuer Schnittstoff zugeführt wird. Dieses geschieht durch die periodische Vorschiebung des Wagens oder Schlittens, auf welchem der Block befestigt ist, und zwar vermittelst eines von der Kurbelachse aus betriebenen Schaltwerkes. Dieses also bildet hier die Speisung. Als Regulirungsgetriebe ist nur die Abstell-

vorrichtung vorhanden, mittelst welcher der Maschinenwärter den Treibriemen auf die lose Rolle schiebt.

Beim Jacquard-Webstuhl sind zwei Hauptgetriebe, der Mechanismus der Lade und derjenige zur Einführung des Einschlagfadens vorhanden, ferner eine sehr verwickelte Steuerung in dem Jacquard-Mechanismus, ausserdem eine Speisevorrichtung für die Fortbewegung der Kette, daneben ein bereits oben erwähnter Regulator für die Kettenspannung und endlich eine oder mehrere Abstellungsvorrichtungen in der Form der Schusswächter und Kettenwächter.

Der hydraulische Widder oder Stossheber, den wir bereits wiederholt zu erwähnen hatten, unterwirft sich leicht der beschreibenden Analysirung. Treiber ist die Aufschlagwassersäule *HAB*, Fig. 364, Werkstück eine Fortsetzung *DE* eben derselben

Fig. 364.



Wassersäule, beide in die entsprechenden Gefässkörper eingefasst. Das Hauptgetriebe selbst ist ein Schaltwerk mit zwei Gesperren in der Form der Ventile *K* und *D*. Eine Steuerung ist nicht vorhanden, wohl aber ein Regulator in der Form des Windkessels *R*.

Die eigenthümliche Seite des Stosshebers, dass das Werkstück ein Theil des Treibers, also das gehobene Wasser ein Theil der Aufschlagwassersäule ist, findet sich auch bei anderen Maschinen, so bei dem früher (§. 48) erwähnten chinesischen Schöpfrade und den damit verwandten Schöpfradkonstruktionen, wie der Noria (§. 49), wo die Maschine durch ein ohne Steuerung und Regulirung wirkendes Hauptgetriebe, ein Laufwerk, gebildet wird. Die

diesen letzteren Maschinen zu Grunde liegende Kette ist nur dreigliedrig: Rad, Wasser, Gestell mit Gerinne.

Bei der beschreibenden Analysirung mancher Maschinenwerke kann man die Kraftmaschine, wofern sie an sich schon bekannt und analysirt ist, als Ganzes in die Beschreibung einführen, ohne der Deutlichkeit zu schaden. So können wir im Ruderraddampfer summarisch als Hauptgetriebe die (Zwillings-) Dampfmaschine mit den beiden mit dem Wasser gepaarten Schaufelrädern bezeichnen; das Steuerruder und sein Triebwerk bilden hier den Mechanismus zur Herbeiführung der Bewegungsfolge, also die Steuerung; eine selbstthätige Regulirung ist selten angewandt, gewöhnlich nur die durch Menschenhand bewegte auch zur Abstellung dienende Vorrichtung. In der Dampfmaschine für sich betrachtet sind Steuerung und Speisung, wie früher ausgeführt, vorhanden.

Diese Beispiele werden genügen, um zu zeigen, wie unsere Analysirung anzuwenden ist, und welches Ergebniss sie liefert. Bei den meisten der angeführten Maschinen würde die Anwendung der alten Zerlegung in Rezeptor, Transmission und Werkzeug völlig fruchtlos sein. Man versuche nur, dieselbe auf die Dampfmaschine, die Uhr, den Webstuhl anzuwenden, um alsbald zu sehen, dass sie den Untersuchenden völlig rathlos dastehen lässt. Bei einigermaassen zusammengesetzten Maschinen unternimmt übrigens auch selbst der Theoretiker der alten Schule nicht, die drei Kategorien durchzuführen.

Bemerkenswerth ist das Urtheil, welches uns die vorgeführten Beispiele hinsichtlich der Mitwirkung der Menschenhand ermöglichen. Wir sehen, dass dieselbe gelegentlich noch in die Steuerung und die Regulirung, seltener in das Hauptgetriebe eingreift, sowie dass bei zunehmender Vervollkommnung einzelner Maschinen auch mehr und mehr sowohl die Steuerung als die Regulirung selbstthätig gemacht werden. Historisch haben wir vom Knaben Potter herauf, der die Newcomen'sche Maschine von Hand zu steuern hatte und angeblich eine Art selbstthätiger Steuerung erfand, bis zu dem „Engineer“ des amerikanischen Salondampfers, der in elegantem Anzug in feiner Kabine drei polirte Hebel kontrolirt, haben wir von dem schon vorgeschrittenen Eisendreher von vor sechszig Jahren, der den Drehstahlschlitten mit der Hand verstellte, bis zu dem Arbeiter an der Revolverdrehbank, bei welcher eine einfache Handhabung der Steuerung fünf bis sechs aufeinanderfolgende Bearbeitungen des Werkstückes herbeiführt, eine und

dieselbe Erscheinung, nur in verschiedenem Grade entwickelt, vor uns: diejenige, dass die Mitwirkung des Menschen an der Maschine verringert, oder wenn man lieber will, die Selbstthätigkeit der Maschine erhöht wird. Im Grunde genommen beginnt übrigens dieser Entwicklungsgang mit dem Uranfang der Maschine selbst in der in Dunkel begrabenen Vorzeit. Denn zwischen dem ersten schüchternen Versuch des Menschen, zwei ausser ihm stehende Körper zu einer bestimmten gegenseitigen Bewegung zu zwingen, und der höchsten heutigen Leistung des maschinenbildenden Geistes besteht ein ununterbrochener Zusammenhang, wie mit feinen, aber an Stärke immer zunehmenden Fäden, welche die Folgerungen aus einem und demselben Grundgesetze sind.

Die vollkommenste oder vollständigste Maschine wird schliesslich diejenige sein, bei welcher man, wie wir bereits in Kapitel VI. besprachen, nur das Einleiten und Abbrechen des machinalen Prozesses zu bewirken hat. Diesem Gipfelpunkte der Vervollkommnung strebt die Maschine im allgemeinen sichtlich zu, ja hat sich demselben stellenweise schon auf Sehweite genähert.

§. 137.

Bedeutung der Maschine für die Gesellschaft.

Die letzten Bemerkungen führen uns wieder aus den besonderen Untersuchungen heraus auf einen allgemeinen und freien Standpunkt der Maschine gegenüber, auf einen Punkt, wo die nüchterne Gegenwart mit ihren Forderungen uns schroff entgegentritt, auf den Punkt, wo wir sie in die brennende Frage unserer Zeit, die Arbeiterfrage, verflochten sehen. So schwierig und verwickelt diese Frage auch ist, so zeigt es sich doch unabweisbar, der Sphinx des modernen Staatslebens ins Gesicht zu sehen; es scheint mir deshalb hier eine Art von Pflicht vorzuliegen, die durch unsere Untersuchungen gewonnenen Einblicke in die Gestaltbarkeit der Maschine zu benutzen, um das Urtheil über deren Werth für das soziale Leben vervollständigen zu helfen.

Es unterliegt keinem Zweifel, dass die Industrie der Kulturvölker die ausgeprägte Form, in welcher wir dieselbe kennen, erst seit der Einführung der Dampfmaschine angenommen hat. Zwar

betrieben auch die Alten bedeutende und gewinnbringende Industrien, wie die Töpferei und Glasfabrikation, die Weberei, die Färberei, die Lebensmittelindustrien; aber wenn auch die Gefässe von Aegina und Athen, die thönernen Service von Sagunt, die ägyptischen Gläser und buntgemusterten Wollenstoffe, die phrygischen gestickten Gewänder, die kalabrischen Schafe und die lukanischen Bratwürste berühmt waren, und viele andere Industrie-Erzeugnisse aus einer Zeit aufzuzählen sind, die zwei und mehr Jahrtausende hinter uns liegt, so haben wir uns doch den Gewerbebetrieb von damals wesentlich verschieden von dem unsrigen vorzustellen. Durchschnittlich war derselbe auf die einzelnen Hausstände der arbeitenden Bevölkerung vertheilt, war sogenannte Haus- oder Heimindustrie, wie wir sie ja noch heute bei denjenigen Völkern finden, welche nicht in die Stromschnelle der modernen Kultur hineingetrieben sind. Die Heranziehung von Gehilfen legte indessen schon damals die Keime zu eigentlichen Fabrikanlagen. Solche sehen wir im Mittelalter schon in grösserem Maassstabe sich bilden. Sie schliessen sich vorzugsweise an die Wasserläufe an, seien es die stärkeren Gefälle an den weniger bewohnten Berglehnen, seien es die breiten niedrigeren Wasser in der Ebene, wo sich die Brücken der Städte mit Fabriken bebauen, die ihre Betriebskraft aus dem dahinschiessenden Flusse entnehmen. Die Zusammenziehung aber steigert sich seit dem Ausgange des vorigen Jahrhunderts mit zunehmender Schnelligkeit, bis sie zu der heutigen Form unserer Fabriken geführt hat, wo Gebäude von wahrhaft kolossalem Umfang viele Hunderte von Menschen eng zur regelmässigsten Arbeit vereinigen. In gewaltigem Maasstabe ist damit die Menge der Erzeugnisse gewachsen, die Erdreichthümer sind dadurch nutzbar gemacht, die Bodenbebauung begünstigt und entwickelt worden. Wohlstand und Nationalkraft haben sich im Zusammenhang damit gehoben, so dass sich die Staatsverwaltungen mehr und mehr veranlasst gesehen haben, die Entwicklung der Industrie zu ihren wichtigsten Aufgaben zu zählen.

Dabei gewann es den Anschein, als sei dieser bedeutende Erfolg dem Prinzipe der Arbeitstheilung zuzuschreiben, und als sei daher dessen Durchführung bis in die äussersten Konsequenzen als Ziel zu erstreben. Allein neben den genannten Vortheilen haben sich nach und nach auch Uebel aus der Industrie entwickelt, die aus der massenhaften Zusammenziehung der Arbeitenden in einzelne Gebäude, aus der Fesselung derselben an eine eintönige

und einseitige Beschäftigung unter oft drückenden Lohnverhältnissen, aus der damit zusammenhängenden Entwerthung des Familienlebens hervorgegangen sind. Diese Unzuträglichkeiten haben sich stellenweise zu Nothständen gesteigert, deren Hebung immer schwieriger geworden ist; der Gedanke der Selbsthilfe macht sich mehr und mehr geltend. So sehen denn Volkswirth und Gesetzgeber sich einem Uebel gegenüber, das sie begünstigten, indem sie das Gute schaffen wollten; beide bemühen sich, die hervorbrechenden Schäden zu ergründen und zu verhüten. Aber die Schwierigkeiten scheinen nur zu wachsen. So rege und mannigfaltig das moderne Staatsleben auch ist: immer hockt hinter dem Reiter die schwarze Sorge in Gestalt der Arbeiterfrage.

Richten wir von unserem Standpunkte aus einen Blick auf die Umwandlungen in der menschlichen Arbeit, welche die Maschine überhaupt bewirkt hat, so sehen wir, dass dieselben sich in den beiden uns bekannten Hauptrichtungen wie in zwei Strömen bewegen. Die eine Richtung ist die der Bewegungsform, die andere die der Kraft*). In der ersten konnten für sich allein mannigfache Fortschritte gemacht werden, was auch geschah und sich in der späteren mittelalterlichen Industrie in gesteigertem Maasse zeigte. Indessen hängen diese Schritte doch sehr enge zusammen mit den Kunstfertigkeiten, welche die unausgesetzte Mitwirkung der geschickten Menschenhand mit sich bringt, also mit der Kunstindustrie. Die Industrie war damals zu sehr grossem Theile nur Kunstindustrie. Die ganz reine Nutzindustrie von heute war fast unbekannt, ihr Begriff wenigstens nicht abgelöst. Wir sehen deshalb den meisten älteren Industrieerzeugnissen das Kunstgepräge deutlich aufgedrückt. Die alten Schlösser, Thürgriffe, Klopfer, Thürgehänge z. B. sind, wo auf ihre Herstellung überhaupt Sorgfalt verwendet werden sollte, vor allem in der freien Formgestaltung ausgebildet. Das „Kunst-Schloss“ des Mittelalters dachte man sich nicht anders, als dass es neben verwickelten Mechanismen auch eine reiche künstlerische Gestaltung — das Wort im allgemeineren Sinne gebraucht — besitze. Dasselbe galt von den Möbeln, Stoffen, Kleidungsstücken, von den Uhren, auch von astronomischen und mathematischen Instrumenten, überhaupt von den Gebrauchsgegenständen aller Art.

Heute dagegen haben wir den Begriff der Nützlichkeitsform,

---

*) Vergl. §. 51.

der Nutzindustrie, für sich entwickelt. Es ist dies ein Begriff, den sich erst unsere Zeit zu eigen gemacht hat. Haben wir in den bildenden Künsten die Alten nirgends übertroffen, ja grösstentheils nicht von ferne erreicht, so dass ihre Schöpfungen für uns geradezu als unerreichbare Ideale dastehen, so haben wir sie in der Nützlichkeitsleistung weit hinter uns gelassen, und zwar wesentlich auf der Unterlage und durch die Ausbildung der Maschine. Die Nützlichkeits- oder Nutzform wird zu allererst bedacht, ihr wird die Kunstform nachgestellt, ja vollständig geopfert (wenigstens scheinbar, denn ein kleiner Rest von freier Gestaltung bleibt unbewusst überall erhalten). Das „Kunst"-Schloss von heute ist in seinen inneren Mechanismen höchst vollkommen ausgeführt, aber auf die strenge Nutzform beschränkt, überdies meist absichtlich verdeckt. Die Möbel, die Geräthe, die Gefässe haben ihre Kunstform häufig fast ganz eingebüsst, indem sie zugleich aufs genaueste symmetrisch und formenstreng gestaltet, genau gezapft, gefügt, gedreht sind, wie es die Maschinenarbeit mit sich bringt. Gerade dieser Prozess aber wurde eingeleitet mit dem Augenblicke, wo in der Dampfmaschine die Quelle gefunden war, welche die zweite der oben genannten Entwicklungsrichtungen, die der Kraft, zu ungeahnter Bedeutung bringen sollte.

War bis dahin die Industrie auf die bewegenden Kräfte des menschlichen Armes, des Zugthieres, des Wassergefälles, des Windes angewiesen, welche die Natur auf einen engen, unveränderbaren Bezirk eingeschränkt hatte, so trat nun mit einem Male eine fast unbegrenzte Kraft in die Dienste des Menschengeschlechtes.

Ueberblicken wir die Zeitperiode, die seitdem vorübergegangen ist, als Ganzes, so bemerken wir, dass darin die zuströmende Kraft die Maschine als solche reissend schnell zur Entfaltung bringt. Und zwar steigert sich einerseits die Kraft in sich selbst, indem die Dampfmaschine rasch an Grösse zunimmt und auch sogar die Wasserkraftmaschinen vermöge der grossen Erleichterung der Herstellung entwickelt, andererseits begünstigt die Dampfmaschine die Mannigfaltigkeit des Bewegungszwanges, indem sie das Hinderniss des Kraftmangels hinwegräumt. So wird diese eine Kraftmaschine, die Dampfmaschine, die Mutter einer Legion von Arbeitsmaschinen, damit aber auch zugleich Herrin der Situation.

Dieses ist der Kernpunkt unserer heutigen Industrieentwicklung, der Quell ihrer Segenswirkungen und zugleich der Keimpunkt ihrer Uebel.

Zunächst bemächtigte sich die Dampfmaschine einer Industrie, bei welcher die Kraft fraglos der Kunstfertigkeit überlegen war: der Bergwerksindustrie, wo sie den Vertikaltransport, die Wasser- und Lastenhebung übernahm, und damit u. a. auch ihre eigene Nahrung, die Kohle, in Fülle herbeischaffte. Die Aenderung, die hierdurch für den Bergbau eingeleitet wurde, ist ganz ausserordentlich. Wo früher auf einen Erbstollen hin, dem höchstens ein Wasserrad aus geringen Teufen noch etwas Wasser zuhob, eine Menge einzelner Gerechtsame ausgetheilt waren, ermöglichte die Dampfmaschine den Tiefbau, dies aber allerdings nur unter der Bedingung der Anlegung eines grossen Kapitals. Demzufolge verschwanden bald die einzelnen kleinen Gerechtsame gegen die der Gewerkschaft, welche den Betrieb grosser Bezirke konzentrirte. In mächtiger Teufe werden grossartige planmässige Abbaue organisirt, in welche der frühere kleine „Kaulen"-Besitzer seine Enkel als Arbeiter schickt, und welche heute förmliche Bevölkerungen in einer stellenweise (namentlich in England) beklagenswerthen Weise den normalen Lebensbedingungen entzieht.

Ein zweites Gebiet, in dessen Besitz sich die Dampfmaschine setzte, war das der Weberei und Spinnerei. Zunächst bemächtigte sie sich der einfachen Webstühle, die allmählich zu einer früher kaum geahnten Produktionskraft gehoben wurden. Aber damit auch Stühle für die reicher gemusterten Gewebe ihr überliefert werden konnten, beeilte sich die Textilindustrie, ihr den Kunstwebstuhl darzubieten. Das fein ausgedachte Schaltwerk, welches Jacquard dem Webstuhl zum Steuerungsgetriebe gab, überlieferte die Weberei im Prinzip gänzlich der mächtigen Dampfmaschine. Noch ist der Prozess der gänzlichen Verschlingung hier nicht vollzogen, obwohl er immer nur Fortschritte macht. Auf dem Gebiete des Spinnens dagegen hat die Maschine bis auf verschwindende Reste die Alleinherrschaft bereits erlangt. Die Zustände, welche sie auf dem Gebiete der Faserstoffindustrie für die Arbeiter herbeigeführt hat, sind vielfach trostlos. Schaaren jugendlicher Arbeiter und Arbeiterinnen führen in den Riesengebäuden, in welchen eine einzige gewaltige Dampfmaschine die Triebkraft in jeden Winkel sendet, eine Existenz, welche in ihren Nachtheilen zu schildern kaum nöthig ist, auf welche ja auch die Gesetzgebung allerorten ihr Augenmerk gerichtet hat.

Eine Reihe anderer Industrieen hat sich die Dampfmaschine allmählich unterworfen, sich und der machinalen Arbeit überhaupt,

und täglich greift sie auf neue Felder. Bei der grössten Mehrzahl bemerken wir jedesmal, dass die Konzentration an die Stelle der zerstreuten Arbeitspunkte gesetzt wird. Geschieht dieser Vorgang auf einem Gebiete, wo eine alte Gewerbthätigkeit bereits vorhanden ist, so sehen wir fast jedesmal die übermächtige Wirkung der Maschine sich in der schlimmen Form äussern, dass der Kleinmeister, der kleine Gewerbtreibende, der in seiner Behausung, in unmittelbarer Nähe seiner Familie sein Tagewerk übte, verschwindet, nämlich von der Fabrik aufgesogen wird. Und dieses Aufsaugungsverfahren wendet sich naturgemäss zunächst dem geschickteren Manne zu. Der ungeschicktere, schwächere, bleibt übrig, bis auch er von der Fabrik verschlungen ist, wenn auch als das geringer bezahlte, in eine tiefere Rangstufe gesetzte Element des grossen Fabrikorganismus, in welchem seine Individualität untergegangen ist. In grossen Städten, wie Berlin, wird der Mangel an Handwerkern bereits so fühlbar, dass er auch denjenigen empfindlich wird, welche sich gerne gegen unsere sozialen Leiden blind machen möchten.

Eine andere üble Folge, welche zum Theil in den eben erwähnten Vorgängen bereits mitspielt, hat die machinale Industrie hervorgebracht und bringt sie in zunehmendem Maasse in der neuesten Zeit hervor, auf welche ich glaube besonders hinweisen zu müssen. Es ist die auffallende Abnahme der Geschicklichkeit der Arbeiter. Dieselbe macht sich in vielen Industriezweigen bemerkbar, am meisten in denjenigen, welche sich vieler Arbeitsmaschinen bedienen; dass die Erscheinung weit verbreitet ist, geht aus dem Umstande hervor, dass an so vielen Orten darauf gedrungen wird, es möchten Prüfungen für die Arbeiter eingeführt und den Geprüften der Vorzug bei der Anstellung gegeben werden. Ihre Erklärung findet die Erscheinung wohl nur zum kleinen Theil in der Gewerbefreiheit; die eigentliche Ursache ist die zunehmende Herstellung der Fabrikate auf der Maschine, derzufolge die Hand des jungen Arbeiters weniger geübt zu werden braucht. Man hat im letzten Jahrzehnt diejenige Gattung von Arbeitsmaschinen und ganze Reihen von solchen Maschinen eingeführt, welche die Bearbeitung eines Fabrikates so zu sagen bis zur völligen Fertigstellung treiben, bei denen die Steuerung, wie die Regulirung zum allergrössten Theil der Menschenhand abgenommen ist. Die Folge ist, dass zur Herstellung eines hinsichtlich seiner Güte sehr hochstehenden Fabrikates nur eine untergeordnete Arbeitskraft erfor-

derlich ist. Man hat es auf diese Weise dahin gebracht, den Arbeiter auf den blossen Wärter der betreffenden Maschine herabzudrücken, und es ist gelungen, durch jugendliche Arbeiter solche „Wärter"-Posten in sehr grosser Zahl zu besetzen. Ein Knabe an einer dieser neueren Arbeitsmaschinen liefert bei der verhältnissmässig leichten Beschäftigung, welche ihm die Maschinenwartung auferlegt, ein Fabrikat ab, welches dasjenige der frühern Methode, bei welcher der Antheil des Arbeiters an dem Produkt der Maschine ein viel grösserer war, weit übertrifft. Ich habe auf das lebhafte Hervortreten dieser Arbeitsmethode — welche allerdings im Grunde genommen von der älteren nur dem Grade nach verschieden ist — bei Gelegenheit der Pariser Weltausstellung aufmerksam gemacht*) und dieselbe als die eigentliche Maschinenmache oder Machinofaktur der Manufaktur gegenübergestellt, auch das Aufgreifen derselben als sehr empfehlenswerth bezeichnet. In der That ist sie das auch gewiss. Der Machinofaktur verdanken wir z. B. die Verbreitung billiger und trefflich gearbeiteter Nähmaschinen; sie führt sich ein für die Herstellung aller Arten von Maschinen, welche nach einem und demselben Modell oder doch einer begrenzten Zahl von Mustern ausgeführt werden sollen; sie hat geradezu Fabelhaftes den älteren Methoden gegenüber geleistet bei der Waffenfabrikation, ferner im Eisenbahnwagenbau, und dringt soeben mit raschen Schritten im Lokomotivbau vor. Aber bei alledem setzt sie die Forderungen an die Geschicklichkeit der Arbeiter herab. Ja, die Machinofaktur findet in diesem durch sie selbst begünstigten Uebel neue Nahrung. Denn der Fabrikbesitzer, welcher gute Arbeiter nicht mehr in genügender Zahl findet, oder dem die Arbeitseinstellungen das Festhalten derselben unmöglich machen, wendet sich in Zeiten der aufgezwungenen Musse zum Maschinenmarkte. Dieser liefert ihm auf seine Nachfrage hin in kurzer Frist eiserne Arbeiter, deren Thätigkeit niedriger im Preise steht und in den Leistungen meistens noch weit besser ist, als die geschickten Leute von vordem, wennschon der Kreis der zu erzeugenden Fabrikate etwas enger eingeschränkt ist, ein Umstand, über den er bald hinwegkommt. Die den Fabrikbetrieb kultivirenden Staaten bewegen sich heute, daran ist nicht zu zweifeln, mit schnellen Schritten in der Richtung zur vollendeten Machinofaktur.

*) Im offiziellen Bericht über die Pariser Weltausstellung 1867. S. 401 ff.

Die Weltausstellungen sind, ohne dass man es in erster Linie beabsichtigt, die grossen Musterungen der Maschinenarmeen; die verschiedenen industriellen Heerkörper zeigen daselbst ihre Waffen und Equipirungen vor. Diese aber beweisen die wahrhaft reissende Geschwindigkeit, mit welcher die Machinofaktur voranschreitet. Ihre ungewöhnlich rasche Entfaltung in der neuesten Zeit ist einer eigenthümlichen und richtigen Wendung in der Auffassung des Maschinenerfinders zuzuschreiben, welche darin besteht, dass nicht mehr die Maschine die Handarbeit oder gar die Natur nachzuahmen sucht, sondern bestrebt ist, die Aufgabe mit ihren eigenen, von den natürlichen oft völlig verschiedenen Mitteln zu lösen. Lange Zeit hat man erfolglos versucht, die Nähmaschine hervorzubringen, indem man die Handnaht zu erzeugen sich abmühte; das gänzliche Verlassen dieses Weges, das Einführen neuer, der Maschine eigenthümlicher Nähweisen, brach mit einem Male den Zauber und liess die Nähmaschine in kurzer Zeit gelingen. Das Walzwerk mit seiner von der Hammerschmiederei so sehr abweichenden Arbeitsweise brachte die Schmiedeisenerzeugung zur eigentlichen Entwicklung. Gewisse Mühlen, in welchen man durch Nachahmung der Thätigkeit der menschlichen Zähne die alten Steinmühlen überflügeln zu können wähnte, sind völlig misslungen. Diese ältere Auffassung beruhte auf einem naturphilosophischen Hintergedanken, dem teleologischen oder Naturzweckmässigkeits-Dogma. Seit man dieses im Maschinenwesen gänzlich über Bord geworfen, ist die Entwicklung in ihre jetzige Schnelligkeit eingetreten. Nur Träumer und Autodidakten erkaufen noch hie und da mit unverhältnissmässigen Opfern an Zeit und Geldmitteln die Erfahrung, dass man die Natur genau studiren muss, um sich auf sie berufen zu dürfen. Im grossen Publikum finden sie allerdings immer leicht Sympathie, da diesem das Dogma so tief zu sein scheint und da es leicht zu fassen ist; allein das fortschreitende Maschinenwesen als Ganzes genommen ist über das Prinzip zur Tagesordnung über gegangen.

Wir haben uns deshalb darauf gefasst zu machen, dass die Machinofaktur in nicht zu langer Zeit die Regel geworden sein, und die ganze Maschinentechnik umgestaltet haben wird. Allgemeiner noch können wir sagen: dass die Konsequenzen, welche in dem Prinzip der Maschine vom Uranfang an steckten, nunmehr mit beschleunigter Schnelligkeit gezogen werden. Wir müssen, nun sie einmal so unleugbar deutliche Formen angenommen hat,

dieselbe mit in jene Rechnung setzen, zu welcher die Arbeiterfrage Veranlassung gibt.

Das eine aber ist bemerkenswerth, dass die Machinofaktur, wie sie in den angeführten Fällen auftritt, den Uebelständen, welche wir durch die Kraftfrage angerichtet fanden, nicht begegnet oder ihnen ausweicht. Sie hebt vielmehr prinzipiell die Arbeitsmaschine auf diejenige Stufe der Leistungsfähigkeit, auf welche sie der vorausgeeilten Kraftmaschine wieder gleich wird. Hatte diese das Kraftvermögen über alle früher gekannten Grenzen hinaus erweitert, wozu sie die kurze Periode von ein und einem halben Jahrhundert gebrauchte, so thut nunmehr die Machinofaktur, welche sich bis dahin langsam entwickelte, dasselbe hinsichtlich der Mannigfaltigkeit des Bewegungszwanges. Beide aber scheinen dem Arbeiter gegenüber ein völlig unwiderstehliches Bündniss eingegangen zu sein, welches die Gesellschaft einer unheilschwangeren Zukunft entgegenzuführen droht.

Es sei erlaubt hier einzuschalten, dass es der Volkswirthschaftslehre schwer fallen wird, die Machinofaktur unter den so ausgiebigen Begriff der Arbeitstheilung zu bringen, indem beide einander wenigstens zum Theil widersprechen. Die Thätigkeit des modernen, an der Spezialmaschine thätigen Arbeiters hat nicht mehr die Form, dass dem Arbeiter ein kleiner und kleiner gewordener Bruchtheil an der Herstellung des Fabrikates zugemuthet wird, wie so häufig angenommen wird. Im Gegentheil, es findet zusehends eine Zusammenfassung der Operationen, welche demselben Arbeiter zugetheilt werden, statt, immer in der Form, dass die Maschine den grösseren Antheil der Arbeit vollzieht, der Arbeiter aber deren Wärter wird. Ueberhaupt wird nach meiner Ansicht die Völkerkunde sich genöthigt sehen, das Prinzip des Maschinenwesens in seiner merkwürdigen Eigenheit, welche auf wissenschaftliche Sätze zurückzuführen ich in den vorliegenden Mittheilungen bemüht war, als Faktor einzuführen. Auch hat jene volkswirthschaftliche Schule, welche als Grundsatz annimmt, dass die streitenden Prinzipien sich von selbst zum Wohle des Ganzen ausgleichen müssten, meines Wissens nirgends mit der positiven Macht des Maschinenwesens, deren Tendenz oben dargelegt wurde, in genügender Weise gerechnet.

Die Maschine ist in dem Punkte der Selbstthätigkeit so weit gebracht worden, dass sie stellenweise für vernunftbegabt gehalten werden könnte; sie tritt fast vollständig an die Stelle des Men-

schen; der Witz ihres Erfinders belebt ihre kleinsten Theile und lässt sie gleichsam lange und verwickelte Gedankenfolgen mit ihrer unerbittlichen Logik verwirklichen: der Mensch aber, ihr Diener, — grausige Ironie — sinkt auf die Stufe der Maschine herab [52]). Man kann in neueren hochentwickelten Fabriken beobachten, dass die Fabrikanten ihre Arbeiter ab und zu die zu wartende Maschine mit einer anderen vertauschen lassen, um das nach und nach tödtlich werdende Einerlei zu unterbrechen, ja sogar, dass auf diese Weise ein und derselbe Arbeiter eine Reihe von Maschinen nacheinander zugewiesen bekommt, wobei seine Thätigkeit also gerade entgegen dem Prinzip der Arbeitstheilung geleitet wird. Ich weise nicht sowohl hierauf hin, um die Industrie oder den Industriellen anzuklagen, für welchen überdies der letztangeführte Umstand spricht, als um den Blick für Zustände zu schärfen, welchen wir in immer grösser werdenden Kreisen entgegengehen.

Haben wir in den bisher betrachteten Beispielen die Maschine in einer Weise wirksam werden sehen, welche neben unverkennbaren grossen Lichtseiten tiefe, ja beängstigend schwarze Schattenseiten zeigte, so finden sich doch auch andere, bei denen die helle Seite entschieden überwiegt, ja die eigentlich wesentliche ist. Diese anderen Beispiele liegen auf dem grossen und überaus wichtigen Gebiete des Transportes durch die Maschine, oder, wie wir uns oben, §. 117, ausdrückten, der transportirenden oder ortsändernden Maschinen.

Die beiden grossen Veranstaltungen für den Horizontaltransport, die Dampfschiffahrt und das Eisenbahnwesen, zeigen Anwendungen der Dampfmaschine, welche nicht das vorhin beobachtete Gefolge von Schädigungen der betheiligten Arbeiter haben; beide Veranstaltungen haben der Gesellschaft die allergrössten Dienste geleistet. Die Ueberbrückung der Meere durch das Dampfboot, die Verknüpfung der Länder durch die Eisenbahn, die Schnelligkeit der auf beiden Strassen stattfindenden Bewegung haben das Völkerleben geradezu umgestaltet, haben ihm neue Bedingungen untergelegt und dasselbe zum Theil unermesslich gebessert. Ziehen wir die Statistik zu Rathe über den Kraftverbrauch, mit welchem die Dampfmaschine hier im Dienste der Menschheit thätig ist, so finden wir die bemerkenswerthe Thatsache zu verzeichnen, dass in Mitteleuropa der Dampfverbrauch für Lokomotiv- und Dampfschiffbetrieb denjenigen für Fabrikenbetrieb zwei bis dreimal in sich fasst; in England ist das Verhältniss vielleicht nicht

ganz so hoch, obwohl immerhin bedeutend, in Amerika dagegen nicht kleiner. Jedenfalls also ist die in Betracht kommende Ziffer von der allergrössten Bedeutung. Diesem Transportwesen aber dient ein sehr beträchtlicher Bruchtheil der Arbeiterbevölkerung, und zwar unter Umständen, welche im Prinzip nicht drückend, nicht herabwürdigend, nicht gesundheitsgefährlich, welche vielmehr im allgemeinen recht günstig sind. An diesem Punkte also hat die Dampfmaschine nach beiden Seiten segensreich gewirkt; an dieser Stelle besteht auch die Arbeiterfrage nicht, oder hat, wenn sie heraufbeschworen wird, nicht den dunkeln Hintergrund der oben geschilderten Lage der Arbeiter.

Aehnliche günstige, oder wenigstens nicht ungünstige Zustände finden wir auf dem Gebiete des Gross-Maschinenbaues, da wo es sich um Herstellung der Lokomotiven, der Dampfmaschinen, der Eisenbahnwagen, der Schiffsmaschinen, der Dampfkessel, der Schiffe u. s. f. handelt. Hier hat der Arbeiter durchschnittlich eine, wenn auch anstrengende, so doch gesunde, nicht zu einförmige und dabei auskömmliche Beschäftigung im Dienste der Dampfmaschine. Das von den besten Absichten durchdrungene Entgegenkommen vieler Fabrikanten und Geschäftsleiter, namentlich auf deutschem Boden, hat sehr schöne Erfolge aufzuweisen. Wo unzuträgliche Zustände auf den genannten Arbeitsgebieten bestanden haben, hat die letzte Zeit durch humanitäre und die Lohn- und Stundenfrage angemessen regelnde Uebereinkünfte dieselben gehoben oder wenigstens nachgewiesen, dass dieselben gehoben werden können. Demnach ist hier die Gesetzgebung in der Lage, bei richtiger Beobachtung der Verhältnisse etwa bestehende Uebelstände zu heben, drohenden vorzubeugen.

Noch liessen sich andere Beispiele verwandter Art hier aufzählen; die angeführten werden indessen genügen, um uns die Ueberzeugung zu geben, dass nicht im Prinzipe der Maschine selbst ihre zu Tage getretene Feindseligkeit gegen das Menschenwohl enthalten ist. Demnach darf von Seiten des Mechanikers an die Frage herangetreten werden, ob und auf welche Weise im Gebiete des Maschinenwesens selbst zur Heilung der Schäden, welche die Maschine der Gesellschaft als Zugabe zu ihren Spenden gebracht hat, beigetragen werden könne.

Die beiden allgemeinen Richtungen, in welchen wir oben die Maschine ungünstig für den Arbeiterstand wirken sahen, die Richtung der Kraft und die der Machinofaktur, zeigen in ihrem Bünd-

niss das Gemeinsame, dass sie den Arbeiter, um es kurz auszudrücken, dem Kapital überliefern. Die Dampfmaschine wirkt um so günstiger, d. h. sparsamer, je grösser sie wird. Sie hat deshalb die natürliche Tendenz der Vergrösserung. Eine Industrie, welche ein einfaches Erzeugniss, wie z. B. den Calico liefert, wird deshalb nothwendig dem Kapital anheimfallen, indem dieses allein im Stande ist, jene grossartigen Anlagen herzustellen, deren Betrieb das Produkt marktfähig billig zu liefern vermag. Allerdings mögen wir mit der Grösse der Webereien und Spinnereien jetzt so ziemlich an der Grenze der Uebersehbarkeit angekommen sein; allein um diese Grenze herum ist sicher das Kapital der Alleinherrscher. Der kleine einzelne Weber oder Spinner steht demselben machtlos gegenüber, oder ist, wenn er selbständig bleiben will, gezwungen, mit seinen Preisen so tief herabzugehen, wie es das Kapital fordert. Letzteres ist dadurch in den Stand gesetzt worden, den Wohlstand ganzer Landschaften zu vernichten oder ganz einseitig zu konzentriren. Bemerkenswerth ist zugleich, dass auf dem Gebiete der Weberei, oder der Faserstoffindustrie im allgemeinen, das Gewaltmittel des Streiks ganz und gar nichts für den Arbeiter erreicht hat.

Sehen wir indessen gerade die Webereifrage näher an, so bemerken wir, dass hier nicht sowohl das Werkzeug, der billig zu beschaffende Webstuhl, als die Dampfmaschine, der Kraftspender, das Uebergewicht verlieh. Nur das Kapital vermag die gewaltige Dampfmaschine zu beschaffen und zu betreiben, um welche herum sich der übrige Theil der Anlage, allerdings auch Kapital beanspruchend, aber nicht davon untrennbar, herumgruppirt. Eben aus diesem Grunde hat sich das Webergewerbe so lange, obwohl unter Hunger und Kummer, der Gewalt der Dampfmaschine gegenüber gehalten.

Offenbar stehen wir hier vor einem Prinzip. Die Arbeitsmaschine ist in sehr vielen Fällen nicht eine Einheit, sondern ist theilbar, findet in einer und derselben Fabrikanlage in vielen gleichwerthigen Wiederholungen, die durch die Dampfmaschine nur locker zusammengehalten werden, Anwendung. Diese einzelnen Arbeitsmaschinen haben keinen unerschwinglichen Preis, im Gegentheil, die Machinofaktur des Maschinenbaues ist beschäftigt, dieselben in zunehmender Vollkommenheit billiger und billiger zu liefern.

In Fällen, wo diese Bedingungen zutreffen, ist demnach die

Möglichkeit vorhanden, dem unerwünschten Uebergewicht des Kapitals zu begegnen, nämlich diejenige, auch die Kraft unabhängig vom Kapital zu machen. Der kleine Weber von vorhin würde dem Ueberdruck des Kapitals entzogen sein, wenn wir ihm das auf seinen Webstuhl entfallende Maass elementarer Betriebskraft geben könnten. Aehnliches könnte mit Erfolg wohl auf dem Gebiete der Spinnerei versucht werden, obwohl diese schon weit mehr als die Weberei der Maschine gegenüber unterlegen ist. Diesen letzteren Umstand haben wir uns aber daraus zu erklären, dass die Spinnmaschine dieselbe Tendenz zur Vergrösserung wie die Dampfmaschine in sich trägt, d. h. bei zunehmender Grösse billiger arbeitet. Andere Gebiete, auf denen wir die obige Schlussfolge mit vollem Recht machen können, sind die Schreinerei, die Schlosserei, die Gürtlerei, die Klempnerei, die Bürstenbinderei, die Pumpenmacherei u. s. w. Was diesen Gewerben fehlt, ist theils die Kraft, theils die Arbeitsmaschine. Aber die letztere würde der einzelne Handwerker sich auch jetzt schon beschaffen können, da sie zu wirklich billigem Preise zu erhalten ist; ihm fehlt nur immer die Betriebskraft. Der Schreiner, dem man für eine Kreissäge, eine Bandsäge, eine Holzhobelmaschine, eine Zinkenfräse die Betriebskraft billig lieferte, würde mit diesen Maschinen in seinem Heim eben so gut arbeiten können, als er es jetzt in der Möbelfabrik thut, die ihn an sich gezogen hat. Er würde dabei, indem er seine Maschinengruppe aufs mannigfaltigste zu verwerthen hätte, seine Geschicklichkeit erhalten oder wiedergewinnen, welche ihm als Fabrikarbeiter abhanden kommt. Aehnlich würde sich der Vorgang bei den anderen erwähnten Gewerben gestalten. Konkurrenzfähig würde der Kleinmeister trotz gewissen Vortheilen der Grossindustrie deshalb werden, weil in der Heimarbeit die gegenseitige Unterstützung der Familienmitglieder, überhaupt das moralische Element, als wirksamer Faktor eintritt. Der Kleinmeister würde mit seiner Umgebung von Gehilfen und Lehrlingen einen geschlossenen Arbeitsorganismus mit Haupt und Gliedern, über- und untergeordneten Kräften bilden, welcher dem ehemaligen Handwerksbetrieb ähnlich sein, und doch von ihm vermöge der Einreihung der Maschine verschieden sein würde. Wäre die Kleinmeisterei einmal konkurrenzfähig geworden, so würde diese ihre Qualität rasch zunehmen, weil in demselben Augenblick auch der Arbeitermarkt für die Gross-Industriellen, d. i. für das Kapital, einen Aufschlag zeigen würde. Das Kapital würde hierdurch die

Anlockung verlieren, sich auf solche Arbeiten zu werfen, für welche die kleine Werkstatt das Bedürfniss decken kann, und würde somit von selbst hier seine Zentralisirungsbestrebungen aufgeben.

Was also das Maschinenwesen zu thun hat, um einem wesentlichen Theile des Uebels zu begegnen, ist, billige kleinere Betriebskräfte, oder mit anderen Worten: kleine, mit geringen Kosten betreibbare Kraftmaschinen zu beschaffen. Geben wir dem Kleinmeister Elementarkraft zu ebenso billigem Preise, wie dem Kapital die grosse mächtige Dampfmaschine zu Gebote steht, und wir erhalten diese wichtige Gesellschaftsklasse, wir stärken sie, wo sie glücklicherweise noch besteht, wir bringen sie wieder auf, wo sie bereits im Verschwinden ist. Es kommt uns nur zu Gute, dass auch auf anderen Gebieten, z. B. demjenigen der Kunstgewerbe, der dringende Ruf erschallt, dem Kleinmeister wieder auf die Beine zu helfen.

Eng an die Kleinmeisterei schliesst sich die Hausindustrie, oder wie die schwedische Sprache sich treffend ausdrückt, der Hausfleiss, an, als diejenige industrielle Beschäftigung, welche zeitweise neben der bäuerlichen oder bürgerlichen Hausarbeit hergeht. Beide gehen theilweise in einander über. Solche Stellen, wo sie noch in erhaltungswerther Form bestehen, gibt es zum Glück immer noch auch in Ländern mit hochentwickelten Grossindustrieen. Noch immer arbeiten in und um Lyon herum kleine Webermeister in grosser Zahl; dasselbe gilt von der Schweiz und von vielen Stellen in Deutschland. In der Lombardei, wo der Bauer seinen Webstuhl und seine Seidenspulmaschine im Hause betreibt, hört man den Wunsch aussprechen und sieht man seine Verwirklichung versuchen, grosse Seidenwebereien anzulegen, um in diesen die bisherige Hausindustrie zu konzentriren. Möchte man auf dem eingeschlagenen Wege dort, wie anderswo, wo bereits die Axt an die Hausindustrie gelegt ist, noch umkehren! Möchten die Verwaltungen ein wachsames Auge auf solche Versuche haben, die zwar augenblicklich vortheilhaft erscheinen mögen, im Grunde aber nur einen gefahrvollen Zustand heraufbeschwören. Gebe man dem angeblich trotzigen Bauer, der seine wenigen Centisimi Hauswebelohn den in der Fabrik zu verdienenden Liren vorzieht, Elementarkraft, und man wird die zurückgebliebene Industrie heben, ohne die Krebsschäden des Grossbetriebes eingeführt zu haben.

Das Gefühl, dass die Kleintheilung der Elementarkraft etwas Angemessen sei, macht sich an verschiedenen Stellen und in meh-

reren Formen geltend. Die eine ist die der Kraftvermiethung, welche in grossen Städten mit Erfolg versucht worden ist. Sie hat indessen das Gefolge der Anhäufung der Arbeiter in einem Gebäude, der freiwilligen Einpferchung der Familien- und der Werkleute in ungesunde Räume, und bringt deshalb alte Uebel in neuer Form. Jedenfalls steht sie weit zurück hinter dem Verfahren, den Kleingewerken kleine einzelne Kraftmaschinen darzubieten. Es lassen sich bereits mehrere vorzügliche Muster dieser Gattung aufzählen. Vor allem die Gaskraftmaschinen, dann die Heissluftmaschinen, die kleinen Wassersäulenmaschinen und, im Stadium eines vielversprechenden Versuches, die Petroleumgasmaschinen.

Von diesen Maschinen arbeiten mehrere bereits billiger, ja beträchtlich billiger als die Dampfmaschine, sind aber ihrem Wesen nach gerade auf die Kleinheit der numerischen Leistung angewiesen, haben also nicht Vergrösserungstendenz. Der Dampfmaschine können sie innerhalb ihres Kraftgebietes — 1 bis 2 oder 3 Pferdestärken — mit zweifellosem Erfolge Konkurrenz machen. Sie sind deshalb zu den wichtigsten aller neueren Maschinen zu rechnen; in ihnen liegen Keime zu einer völligen Umgestaltung eines Theiles der Industrie.

Den eigentlichen Anstoss zur Einführung kleiner Kraftmaschinen gab der geniale Ericson, und zwar mit einem fast völlig misslungenen Debut. Nachdem ihm zuerst die mächtige Heissluftmaschine, mit welcher er die Alleinherrschaft der Dampfmaschine zu stürzen trachtete, misslungen war, warf er, ein unermüdeter Angreifer, sich auf die kleinen, ein- bis zweipferdigen kalorischen Maschinen, welche zwar schliesslich auch keinen dauernden Erfolg hatten, aber doch den wichtigen Beweis führten, dass die neuen Maschinen erstens ausführbar und zweitens ein Bedürfniss seien. Danach hat sich unter mühevoller Erfindungsarbeit die Schaar der Kleinkraftmaschinen, über welche wir jetzt verfügen, aus dem Stadium der keimenden Ideen zu demjenigen voller praktischer Bedeutung entwickelt. Die Männer, welche der neuen Maschinengattung sich gewidmet und ihr stellenweise bedeutende Opfer gebracht haben, sind für eine grosse Sache thätig gewesen. Denjenigen aber, welche mit verschränkten Armen zugeschaut und mit Ben Akibas Weisheit unter der Sonne nichts Neues zu sehen behaupteten, ist das merkwürdige und spannende Schauspiel der Entwicklung eines neuen

Gedankens auf dem Maschinengebiete entgangen, das sich unter ihren Augen vollzog.

Am seltensten anwendbar ist die Wassersäulenmaschine, da das Hochdruckwasser meistens zu theuer ist; indessen gibt es doch vereinzelte Fälle, wo es wenigstens zeitweise billig zu haben ist. Die Luft- und Gasmaschinen sind dagegen fast überall zu verwenden und befinden sich ausserdem auf dem Wege stetiger Vervollkommnung. Diese kleinen Motoren sind die wahren Kraftmaschinen des Volkes; sie sind zu mässigem Preise zu beschaffen und sehr billig zu betreiben. Nicht genug kann das Augenmerk der Behörden, der gemeinnützigen Gesellschaften, der Gewerbevereine, der Gewerbs-Genossenschaften auf dieselben gerichtet, nicht genug die Erleichterung ihrer Anschaffung empfohlen werden, zumal die Beweise bereits in Menge vorliegen, in welchem Grade dieselben den Kleingewerbebetrieb zu heben vermögen.

Zeigt es sich für einen beträchtlichen Theil der Gewerbe möglich, eine im Abwärtsgehen begriffene Betriebsart festzuhalten und wieder aufzufrischen, gleichsam eine Rückbildung mit derselben vorzunehmen, so kann dieses Verfahren für andere Gebiete, deren Zustände auch viel Beklagenswerthes an sich tragen, nicht gerathen werden. Dies gilt namentlich von der Bergwerks-Industrie und ihrem nächsten Anhang. Die Zerkleinerung derselben geht weder an, noch würde sie, wenn mit allen zu Gebote stehenden Mitteln erzwungen, nützlich sein. Diese Industrie gehört zu denjenigen, welche nur durch die Zentralisirung, durch die geordnete Zusammenwirkung zahlreicher Kräfte, durch die Beihilfe des Kapitals zur Entwicklung gebracht werden können. Untersucht man die hier auftretenden Unzuträglichkeiten für den Arbeiter, so findet man, dass dieselben nicht unzertrennlich mit dessen Geschäfte verknüpft sind. Aufgabe der Gesetzgebung und Verwaltung ist es hier, Missbräuchen zu steuern und die Betriebsweise in der Richtung der Gesundheitspflege zu überwachen. Dass der Grubenbetrieb in einer Weise geschehen kann, welche den Arbeiter weder gesundheitlich benachtheiligt, noch auch in seiner Menschenwürde herabsetzt, zeigt das Bergwesen in Deutschland an vielen Stellen, namentlich in grossem Maasstab in den fiskalischen Grubenrevieren des Saarbeckens. Das Maschinenwesen hat aber hinsichtlich des Bergwesens noch die Aufgabe, durch Ausbildung der unter Tag anzuwendenden Arbeitsmaschinen das mühvolle Werk des Bergmanns zu erleichtern. Bohrmaschinen, Schrämmaschinen, Maschinen für die

Lüftung und solche für die Förderung und den Schleppdienst in der Grube müssen als Aufgaben unserer Zeit angesehen werden. Auch ist bereits zu beobachten, dass tüchtige Maschinenbauanstalten sich energisch denselben widmen. Hier tritt die Maschine wieder in das volle Licht ihres Werthes für die Gesellschaft und die Menschheit. Es weht darum auch eine angenehme geistige Frische gerade durch dieses Gebiet des Maschinenbaues, gleichsam als wirke das Bewusstsein mit, dass es sich hier um die Erleichterung des schweren Tagewerks einer ganzen Menschenklasse handelt.

Fassen wir die Resultate unserer Betrachtungen, bei welchen ich absichtlich jedes Heraustreten aus dem Ideenkreise unseres eigentlichen Gegenstandes vermieden habe, zusammen, so sehen wir, dass die Maschinenwissenschaft thatsächlich gegenüber der Arbeiterfrage Stellung nehmen kann, und zwar dass die Aufgabe des Maschinenwesens sich hier als eine nach verschiedenen Seiten ungleichartige herausstellt.

Einzelne Grossindustrieen, welche auf der Maschine beruhen, befinden sich in guter und hinsichtlich der sozialen Forderungen nach der einen wie anderen Seite angemessenen Lage. Hier ist die Entwicklung des in Betracht kommenden Antheiles des Maschinenwesens der Ausdehnung wie der inneren Ausbildung nach nicht mit in ihm selbst liegenden Gefahren verknüpft.

Andere Grossindustrieen bergen für den Arbeiterstand Uebelstände und Beschwerden, welche, abgesehen von der Einwirkung der Gesetzgebung, durch die fernere gesteigerte Mitwirkung des Maschinenwesens gemildert oder gehoben werden können.

Ein drittes Gebiet der Grossindustrie hat sich in Folge der Einseitigkeit der Dampfmaschine in einer Richtung entwickelt, welche für die betheiligte Arbeiterbevölkerung ungünstig, für die Kleinindustrie verderblich ist. Hier empfiehlt sich die Dezentralisirung und zwar mit Mitteln, welche der allgemeinen wirthschaftlichen Bewegung keinen Zwang anthun. Wir sehen diese Zertheilung angebahnt durch die auftauchenden kleinen Kraftmaschinen. Diese zu entwickeln und zu verbreiten, erscheint heute als eine hervorragende Aufgabe des Maschinenwesens. Das zu erstrebende Ziel würde die Auflösung der betreffenden Industrieen in eine grosse Anzahl kleiner industrieller Organismen sein, welche, zwischen den grossen, als nothwendig und gut erkannten Organisationen verstreut, mit diesen zusammen einen blühenden und zugleich sozial befriedigenden Zustand zu verwirklichen vermögen.

DREIZEHNTES KAPITEL.

KINEMATISCHE SYNTHESE.

In magnis et voluisse satest.
PROPERTIUS.

§. 138.

Aufgabe der kinematischen Synthese.

Der kinematischen Analyse, mit welcher wir uns durch eine grosse Reihe von Untersuchungen hindurch beschäftigt haben, steht die kinematische Synthese gegenüber. Während das analytische Verfahren die Eigenschaften des Bewegungszwanges kennen lehrt, welche die aus gegebenen Elementenpaaren, kinematischen Ketten und Mechanismen gebildeten Verbindungen besitzen, fällt dem synthetischen Verfahren die schon bei der „allgemeinen Lösung des Maschinenproblems“ (§. 3) hervorgehobene Aufgabe zu, diejenigen Elementenpaare, Ketten und Mechanismen anzugeben, durch deren geeignete Verbindung sich ein Bewegungszwang von gegebener Art verwirklichen lässt.

Betrachten wir diese Aufgabe für sich, auf ihre innere Bedeutung hin, so stellt sie sich als eine der höchsten, letzten, vielleicht die bedeutendste aller derjenigen heraus, welche uns nach einander entgegengetreten sind, da sie sich mit der Schöpfung neuer Maschinen, also mit der Fortentwicklung des Maschinenwesens als Ziel, unmittelbar befasst. Aus diesem Grunde, und da die Beschäftigung mit dieser Aufgabe die Analyse voraussetzt, bildet die Synthese die letzte der uns in der theoretischen Kinematik zufal-

34*

lenden Aufgaben, gleichsam den Schlussstein des zu errichtenden Lehrgebäudes.

Dem Leser, welcher den vorhergehenden Untersuchungen ohne Unterbrechung gefolgt ist, wird nicht entgangen sein, dass sich nach und nach synthetische Sätze bereits eingefunden haben, sei es bei der allgemeinen Auffassung, zu welcher die Entwicklungsgeschichte der Maschine Veranlassung gab, sei es bei den besonderen Betrachtungen über einzelne Elementenpaare, sowie ganzer Klassen von Mechanismen und vollständigen Maschinen.

Diese Sätze haben den Weg zur Lösung der Aufgabe mehr und mehr eingegrenzt, sodass dasjenige, was die Synthese etwa zu erreichen vermag, sich in grösseren Umrissen bereits zu zeigen begonnen hat. Dennoch lässt sich auch auf dem bereits erreichten Punkte die Aufgabe noch mehrfach verschieden auffassen. Es wird daher zunächst nöthig sein, die Richtung, in welcher die wissenschaftliche Synthese der Gesammtheit der sich darbietenden Probleme gegenüber am ersten Erfolg verspricht, festzustellen.

Wie mir scheint, lassen sich zwei Hauptrichtungen unterscheiden, welche nach dem zu erstrebenden Ziele hinführen. Die eine kann die direkte, die andere die indirekte genannt werden. Jede derselben spaltet sich wieder in zwei besondere Zweige, den des allgemeinen und den des speziellen Verfahrens. Wir wollen versuchen, die Brauchbarkeit dieser verschiedenen Richtungen *a priori* zu prüfen.

§. 139.

Direkte kinematische Synthese.

Die direkte und zugleich allgemeine Synthese würde unmittelbar anzugeben haben, welche Mechanismen in jedem Falle zur Erzielung einer geforderten Orts- oder Formänderung eines zu bearbeitenden Werkstückes, oder zur Verwerthung der in einem Körper gebotenen Naturkraft in einer Maschine anzuwenden wären. Selbst eine nur oberflächliche Prüfung zeigt aber bald, dass dieser Weg nicht der empfehlenswerthe sein kann. Denn unserer Erfahrung und Analyse gemäss kann ein und derselbe Bewegungszweck auf verschiedene, oftmals sehr zahlreiche Arten erreicht werden. Die Synthese hätte also eine grössere Zahl von Antworten auf ein-

mal zu geben, oder aber die beste der möglichen Lösungen sofort zu liefern. Letzteres ist aber geradezu unausführbar wegen des Umstandes, dass die praktische Seite der einzelnen Lösung grossentheils aus der kinematischen Sphäre herausfällt (s. Schluss v. §. 3). Zwei Dampfmaschinen von verschiedener Bauart z. B. können unter verschiedenen Umständen ganz gleich gut, gleich brauchbar, gleich praktisch sein, während sie sich kinematisch stark unterscheiden. Wir haben daher keine Aussicht, die allgemeine direkte Synthese brauchbar ausbilden zu können.

Wenden wir uns deshalb zur speziellen direkten Synthese. Hierunter ist das Verfahren zu verstehen, welches für eine geforderte Orts- oder Formänderung unmittelbar ein Elementenpaar bestimmt. Dies ist in der That allgemein möglich. Denn wenn wir die geforderte Bewegung in jeder Beziehung kennen, so vermögen wir gemäss den Sätzen in Kap. II. die Axoide der beiden Elemente anzugeben, und alsdann, wie in Kap. III. nachgewiesen wurde, auch die denselben zu gebenden Profilformen zu ermitteln. Vom letzteren ausgenommen würden nur diejenigen Fälle sein, in welchen die Polbahnen stets in unendliche Ferne fallen (vergl. §. 9). Hier hätte eine besondere weitere Behandlung der Aufgaben stattzufinden, welche auf die allgemeine direkte Synthese zurückführt. Allein wir brauchen den Gegenstand in der That nicht weiter zu verfolgen, da wir längst wissen, dass die Lösung der Bewegungsaufgaben durch Paare von Elementen in sehr vielen, ja den allermeisten Fällen weit weniger praktisch ist, als diejenige, welche eine kinematische Kette zu Grunde legt. Somit stellt sich auch dieser zweite Weg den praktischen Aufgaben gegenüber als aussichtslos heraus.

§. 140.

Indirekte kinematische Synthese.

Das indirekte synthetische Verfahren besteht darin, von allen denjenigen Problemen die Lösung im voraus anzugeben, unter welche das gegebene Problem möglicherweise fallen kann. Mit anderen Worten heisst dies: die Gesammtheit der kinematischen Probleme im voraus lösen. Diese Aufgabe stellt sich auf den ersten Blick als so weitschichtig, ja so maasslos, der Versuch ihrer Lösung

als so kühn dar, dass sie hier vielleicht nicht anders, denn als ein blosser theoretischer Satz erscheint. Allein ich kann zurückverweisen auf Untersuchungen, die uns bereits gezeigt haben, dass die kinematischen Probleme nicht ein grenzenloses Gebiet bedecken. Ich erinnere nur an die gewiss bemerkenswerthe Kleinheit der Zahl der niederen Paare (§. 15), sowie an die Zählbarkeit der aus jeder Kette herstellbaren Mechanismen (§. 3). So auch hier. Bei näherer Betrachtung stellt sich das Gebiet der kinematischen Probleme wenigstens als übersehbar heraus. Spannt man daher die Forderungen nicht zu hoch, so bietet die Lösung der vorhin bezeichneten Aufgabe innerhalb eines grossen Gebietstheiles, insbesondere desjenigen, auf welchem sich unsere Maschinenpraxis bewegt, keine unüberwindlichen, wenn auch grosse Schwierigkeiten.

Zunächst ist die spezielle indirekte Synthese gemäss den Aufschlüssen, welche die Analyse uns gegeben hat, wirklich durchführbar. Sie hat anzugeben, welche kinematischen Elementenpaare überhaupt bestehen. Nun wissen wir aber (aus §. 56), dass die Zahl der Elemente keine besonders grosse ist, indem wir dieselben durch eine mässige Zahl von Zeichen auszudrücken vermochten. Demzufolge muss sich auch die Zahl der aus denselben zu bildenden Paare innerhalb nicht zu weiter Grenzen bewegen. Dies ist in Wahrheit der Fall. Wir sehen sich also hier thatsächlich ein Feld für die Synthese eröffnen.

Der allgemeinen indirekten Synthese wird sodann die Aufgabe zufallen, für die kinematischen Ketten dasselbe zu leisten, was die spezielle Synthese für die Paare thut. Als Hinderniss stellt sich hier die grosse Zahl der möglichen Fälle entgegen. Allein diese schmilzt bei näherer Prüfung doch bedeutend zusammen. Vor allem stellt sich die Zahl der einfachen kinematischen Ketten, also derjenigen, bei welchen kein Glied mehr als zwei Elemente besitzt, nicht so gross heraus, als sich erwarten liesse. In der That aber macht die Bestimmung der möglichen einfachen Ketten schon einen sehr ansehnlichen Theil der Aufgabe aus.

Zwar kann nämlich die Zusammensetzung der Ketten bis ins Endlose weiter getrieben werden, sodass die wirkliche Erschöpfung der Fälle unmöglich ist; auch muss grundsätzlich den zusammengesetzten Ketten dieselbe Berechtigung auf Untersuchung beigemessen werden, wie den einfachen. Allein in der Maschinenpraxis wird die Zusammensetzung der Ketten thatsächlich nicht sehr weit getrieben. Wo dies dennoch scheinbar der Fall ist, lässt sich fast

immer durch die Scheidung der Zwecke, welchen die Theilgruppen dienen, das Ganze so theilen, dass die Zusammensetzung der Kette als die Aneinanderreihung von Mechanismen aufgefasst werden kann, welche für sich allein nicht zu sehr verwickelt sind. Die beschreibende Analyse (§. 135) hat uns hierüber weitgehende und befriedigende Aufschlüsse gegeben. Eine genauere Trennung der Fälle werden wir weiter unten noch vorzunehmen haben. Immerhin treten zusammengesetzte Ketten nicht selten als Einheiten auf. Allein mehrere wichtige derselben lassen sich jetzt schon in den Bereich der synthetischen Aufsuchung hineinziehen, ohne deren Umfang über Gebühr zu vergrössern; auf andere kann die Untersuchung mit der Zeit ausgedehnt werden.

Somit sehen wir denn, dass die Synthese auf dem indirekten Wege wirklich etwas zu leisten im Stande ist, dass wir diesem Wege also mit Aussicht auf praktischen Erfolg nachgehen dürfen.

§. 141.

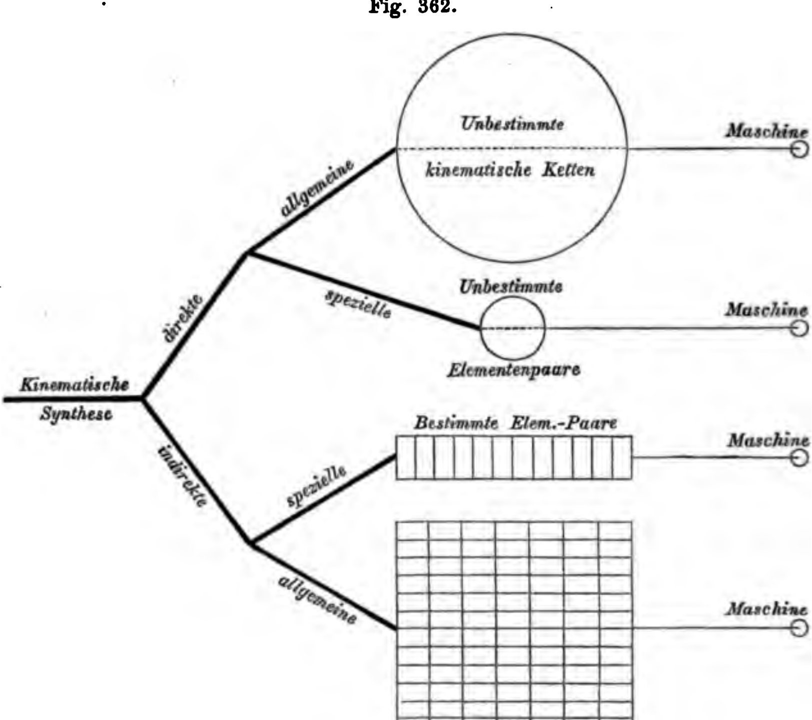
Gesammtbild des synthetischen Verfahrens.

Bei der unleugbaren grossen Wichtigkeit des Gegenstandes erscheint es nicht unangemessen, dem Leser ein sinnlich erfassbares Bild der synthetischen Verfahrungsweise, wie sie sich nach den eben angestellten Betrachtungen darstellt, vorzuführen; die umstehende Fig. 362 ist hierzu bestimmt.

Die kinematische Synthese als Ganzes trennt sich in direkte und indirekte, von denen jede entweder allgemein, oder speziell sein kann. Die direkte Synthese würde aus den Kreisen der zu Gebote stehenden, kinematisch als elementar anzusehenden Körper nach den Gesetzen der Ketten- und Paarbildung die geeigneten kinematischen Ketten und Elementenpaare zu gestalten haben. Sie stösst theils auf unlösbare Schwierigkeiten, theils liefert sie Resultate, welche nicht verwerthbar sind, hat deshalb eine praktische Bedeutung nicht zu gewärtigen. Die indirekte Synthese bildet und ordnet erstens als spezielle Synthese die möglichen Elementenpaare, und verbindet zweitens als allgemeine Synthese die gefundenen Elementenpaare zu kinematischen Ketten. Aus den regelmässig geordneten Gebieten der Paare und Ketten hebt sie

darauf die für den einzelnen Fall geeignete Verbindung heraus. Selbstverständlich bildet sie diese letztere zum Mechanismus und diesen zur Maschine aus. Ihr allgemeines Verfahren beim Heraus-

Fig. 362.



heben der geeigneten Verbindung aus der Gesammtzahl der verfügbaren ist die Induktion.

Wir müssen jetzt sehen, zu welchen Resultaten uns die nunmehr ausgewählten Wege führen.

§. 142.

Synthese der niederen Elementenpaare.

Die in §. 55 von uns festgestellten Gattungszeichen für die kinematischen Elemente waren zwölf an der Zahl, und zwar hatten wir zehn Zeichen für die starren Elemente:

S Schraube, *H* Hyperboloid,
R Drehkörper, *G* Kugel,
P Prisma, *A* Drehkörperausschnitt,
C Cylinder, *Z* Zahn,
K Kegel, *V* Gefäss,

und zwei Zeichen für die bildsamen Elemente:

T Zugkraftorgan, *Q* Druckkraftorgan,

in Summa zwölf Namenzeichen.

Wir besprechen zuerst die starren Elemente, beziehungsweise ihre Verwendung in Paaren. Zunächst haben wir aber zu bemerken, dass das Element *V* nur mit dem Druckkraftorgan *Q* gepaart wird, also fürs erste hier ausser Betracht bleibt. Sodann ist *G* nur das Zeichen für einen besonderen Drehkörper, ist also unter *R* mit einbegriffen; letzteres gilt auch von *A* als dem Ausschnitt aus einem an sich schon bestimmten Körper. Somit bleiben denn die sieben Elemente

$$S, R, P, H, K, C, Z$$

zur synthetischen Verwendung. Von den hieraus herstellbaren Elementenpaaren sind uns bereits vollständig bekannt die drei wichtigen Umschlusspaare, von uns für gewöhnlich niedere Paare genannt:

$S \overset{+}{=} S^-$ oder (S) das Schraubenpaar,
$R \overset{+}{=} R^-$ oder (R) das Drehkörperpaar,
$P \overset{+}{=} P^-$ oder (P) das Prismenpaar.

Das Beiwort „nieder“ müssten wir, streng genommen, um Verwechslungen zu vermeiden, beim Schrauben- und beim Drehkörperpaar stets hinzufügen; doch haben wir bereits gesehen, dass dasselbe für gewöhnlich wegbleiben kann. Für (R) schreiben wir auch gewöhnlich (C) und nennen das Paar Cylinderpaar, können aber jeden Augenblick auf die allgemeine Form (R) zurückkehren.

Die beiden Paare (R) und (P) lassen sich gemäss §. 3 als besondere Arten der Gattung (S) auffassen. Setzen wir die Grösse der Tangente des Steigungswinkels als Exponenten dem Zeichen *S* an, wie wir früher, §. 56, beim Hyperboloid bereits gethan haben, so haben wir $(S^0) = (R)$ und $(S^\infty) = (P)$. Wir dürfen also, wofern wir in die Lage kommen, nur Gattungen unterscheiden zu wollen, die niederen Paare unter dem Symbol (S) zusammenfassen, oder haben, mit anderen Worten, bei ganz allgemeiner Klassifizirung, wie es für die Synthese erforderlich sein kann, nur das einzige Umschlusspaar (S) aufzuzählen.

§. 143.

Die einfacheren höheren Elementenpaare.

Das Element R eignet sich ausser zur Bildung des Umschlusspaares (R) auch noch zur Bildung eines höheren Paares, z. B: eines solchen, zu welchem die cylindrischen Reibungsräder, Fig. 363, gehören, welches Paar mit der Formel C,C oder allgemeiner R,R zu schreiben sein würde. Suchen wir auch hier alsbald die Gattung auf, zu welcher R,R als Art gehört, so finden wir diese in dem Paare, welches aus allgemeinen Hyperboloiden zusammengesetzt ist, und $\tilde{H},\tilde{H}$ geschrieben wird. Aus demselben leiten sich das Paar von unrundem Kegel, $\tilde{K},\tilde{K}$, und das von unrunden Cylindern, $\tilde{C},\tilde{C}$, als Arten ab. Wir haben zahlreiche Ausführungen des letzteren Paares in der Form der Bogenscheiben (§. 21, ff.) kennen gelernt. Ein allgemeines Beispiel zeigt Fig. 364.

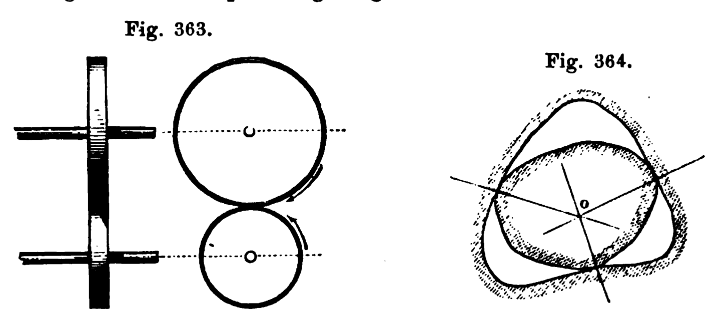


Fig. 363. Fig. 364.

Bei weitergeführter Vereinfachung der Form gelangen wir zu dem Paare R,R, welches wieder einzelne bestimmte, aber immerhin allgemeine Formen annimmt. Wir wollen hier, wie wir bisher schon öfter gethan, suchen, die Paare durch einzelne Grossbuchstaben auszudrücken. Dies geht recht gut an, weil die beiden Partner stets gleiche Buchstaben haben. Wir haben nur bei den Paaren aus Drehkörpern die Verwechslung mit den Umschlusspaaren zu vermeiden. Dies kann dadurch geschehen, dass wir dem Namenzeichen ein Komma beisetzen. Demnach haben wir hier vor uns die Gattung:

$\tilde{H},\tilde{H}$ oder $(\tilde{H},)$ das allgemeine Hyperboloidpaar.

Dasselbe nimmt die folgenden ihm untergeordneten Artformen an:

$\tilde{K},\tilde{K}$ oder $(\tilde{K},)$ Kurven-Kegelpaar,

$\tilde{C},\tilde{C}$ oder $(\tilde{C},)$ Kurven-Cylinderpaar,

R,R oder $(R,)$ allgemeines Drehkörperpaar.

Letzteres zerfällt wieder in die besonderen Formen:

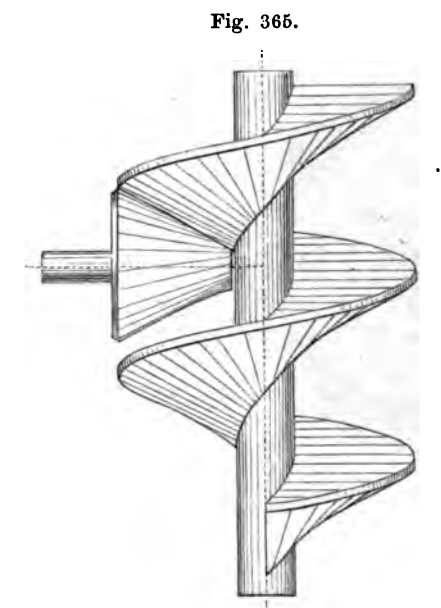
H,H oder $(H,)$ Normal-Hyperboloidpaar,

K,K oder $(K,)$ Normal-Kegelpaar,

C,C oder $(C,)$ Normal-Cylinderpaar.

Zwischenformen zwischen den allgemeinen und besonderen gibt es auch, so die Form H,S, welche in Fig. 365 dargestellt ist, und bereits früher besprochen wurde, auch die eines Planhyperboloides H^{o} mit einem Normalkegel K *). Diese Zwischenformen fallen unter das Klassenzeichen $(\tilde{H},)$ beziehungsweise $(H,)$, indem die Schraube in Fig. 365 in ihrer Eigenschaft als Regelfläche, d. i. $\tilde{H}$ auftritt, ihre Eigenschaft als Schraube S aber erst in zweiter Linie steht.

Fig. 365.



Das Paar C,C ist zu unterscheiden von dem Umschluss-Cylinderpaar; für gewöhnlich ist es angemessen, $(R,)$ statt $(C,)$ zu setzen, damit Verwechslungen vermieden werden. Als besonderer Fall des Paares $(C,)$ ist das Paar aus Cylinder und Prisma C,P zu bezeichnen, welches entsteht, wenn der eine der beiden Cylinder von unendlich grossem Halbmesser gewählt wird. Als verkürztes Paarzeichen kann das Zeichen $(C,_{p})$ dienen, wobei das zwischen C und p gesetzte Komma deutlich macht, dass C und P zu höherer Paarung verbunden sind.

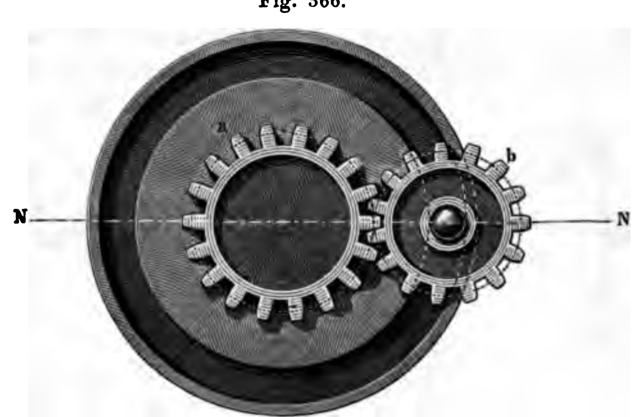
*) Siehe meinen Konstrukteur, III. Aufl., S. 451.

§. 144.

Synthese der Zahnräderpaare.

Wir kommen nun zu den Zahnrädern. Man könnte diese auch schon unter die Gattung $(\tilde{H},)$ mit begreifen. Allein die vielfältige Wiederholung einzelner Profilirungen, welche gleichsam zu einem Ganzen erst zusammengesetzt werden, lässt auch eine prinzipielle Sonderung als passend erscheinen. Praktisch ist sie ja durchaus üblich. Bei den Zahnrädern dürfen wir nicht vergessen, dass Zahnräderpaare auch ohne Kettenschluss, unter blossem Paarschluss möglich sind. Ich verweise auf Fig. 366 und die Betrachtungen in

Fig. 366.



§. 43 und 50, wo die wirkliche Existenz dieser Art Paare besprochen wurde.

Betrachten wir zunächst Zahnräder mit **kreisförmigen Polbahnen**, so können wir diese unter dem Symbol:

R_z, R_z oder (R_z) als runde Zahnräder

zusammenfassen. Die dieser Gattung angehörigen Arten sind:

H_z, H_z oder (H_z) Hyperbelräder,
K_z, K_z oder (K_z) Kegelräder,
C_z, C_z oder (C_z) Stirnräder.

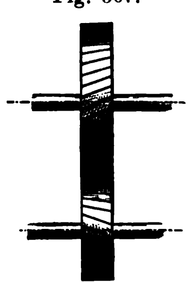
Die Zähne dieser Räder sind im allgemeinen als Regelflächen vom Karakter der Axoide, zu denen sie gehören, aufgefasst; gibt man den Zahnkanten aber einen schraubenförmigen Verlauf, so geht R_z

in R_z über. Die allgemeinste hierbei entstehende Gattung hat die höhere Schraube $\tilde{S}$ als Zahnform, ist also $R_{\tilde{z}}, R_{\tilde{z}}$ oder auch $(R_{\tilde{z}})$ zu schreiben. Als ihr untergeordnete Arten haben wir die Paare:

H_s Hyperbel-Schraubenräder,
K_s Kegel-Schraubenräder,
C_s Stirn-Schraubenräder.

In letztere Art ist das Elementenpaar einbegriffen, welches sich aus zwei Schrauben S, also in der Form S,S oder $(S,)$ herstellen lässt, vergl. Fig. 367. Wir ziehen für gewöhnlich die Schreibweise (C_s) vor. Indessen können wir das Zeichen $(S,)$ beziehungsweise seine höhere Form $(\tilde{S},)$ doch noch gut verwerthen, indem wir zu beachten haben, dass aus diesem Paare einander umhüllender Schrauben als Klasse das allgemeine Umschlusspaar (S) als Gattung abgeleitet werden kann, was wir denn auch thun wollen.

Fig. 367.



Noch aber haben wir höhere Gattungen von Zahnrädern zu verzeichnen, solche nämlich, bei welchen die Polbahnen nicht kreisförmig sind. Wir erhalten die folgenden Gattungen:

$$(\tilde{H}_z)\ ,\ (H_{\tilde{z}})\ \text{und}\ (\tilde{H}_s)$$

nebst den abgeleiteten Arten:

$$(\tilde{K}_z)\ ,\ (\tilde{K}_{\tilde{z}})\ \text{und}\ (\tilde{K}_s)$$
$$(\tilde{C}_z)\ ,\ (\tilde{C}_{\tilde{z}})\ \text{und}\ (\tilde{C}_s).$$

Die Zwischenformen H_z,K_z (hyperbolisches Planrad mit Kegelrad), H_z,S_z, entsprechend Fig. 365, sind unter dem Gattungszeichen mit einbegriffen. Dasselbe gilt von denjenigen Paaren, bei welchen ein Stirnrad in eine Zahnstange P_z übergeht, indem hierbei P als besondere Form von C auftritt.

§. 145.

Kurvenschub-Paare.

Als eine besondere Nebengattung, welche aus der Gattung $(\tilde{H},)$ sich abzweigt, ist das Paar zu bezeichnen, welches in den Kurvenschubgetrieben, Fig. 368 und 369 (a. f. S.), zwischen den Gliedern a und b besteht. Hier insbesondere ist es ein unrunder Cylinder $\tilde{C}$

mit einem Zahn Z; im allgemeinen wird es ein unrundes Hyperboloid $\tilde{H}$ mit einem allgemein profilirten Zahn $\tilde{Z}$ sein. Das Paar,

Fig. 368.

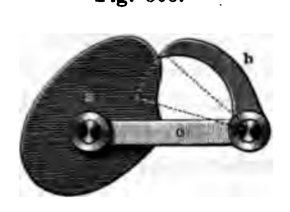


Fig. 369.



welches als allgemeines Kurvenschubpaar zu bezeichnen wäre, ist zu schreiben:

$$\tilde{H},\tilde{Z} \text{ oder } (\tilde{H}_{,\tilde{z}}).$$

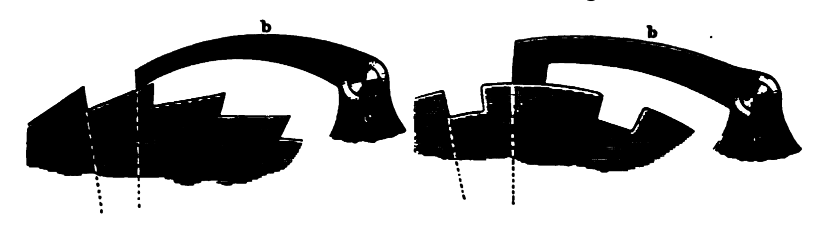
Die abzuleitenden Arten sind neben $(H_{,z})$ noch:

$$(\tilde{K}_{,\tilde{z}}) \text{ und } (K_{,z})$$

$$(\tilde{C}_{,\tilde{z}}) \text{ und } (C_{,z}).$$

Hierher haben wir auch gemäss §. 120 die in den Gesperren, Fig. 370 und 371, angewandten Paarungen zu rechnen. Sie sind,

Fig. 370. Fig. 371.



wofern es sich um gezahnte Drehkörper handelt, gemäss §. 119 zu schreiben $(R_{,};)$ und $R_{,}:)$. Demnach heissen sie in der allgemeineren Schreibweise:

$$(\tilde{H}_{,};) \text{ und } (\tilde{H}_{,}:),$$

aus welchen, wie bei den Zahnrädern, die untergeordneten Formen

abzuleiten sind. Auch hier sind die Fälle der Zahnstange als Abarten, welche beim Uebergang von C in P erhalten werden, mit einbegriffen.

§. 146.

Zusammenfassung der Paare aus starren Elementen.

Aus dem Vorstehenden geht hervor, dass sich die Paare, welche aus den starren Elementen gebildet werden können, so ordnen lassen, dass man jedes einzelne womöglich auf eine nächst höhere Form zurückbeziehen kann, bis man zu einer umfassenden und doch noch klar ausgesonderten obersten Form gelangt. Auf diese Weise entstehen regelmässige Ueber- und Unterordnungen, bei welchen wir als die oberste Form die Klasse, also die von uns gewählte äussere Eintheilung, als die nächsttiefere allgemein die Gattung, und als darunterstehend die Art unterscheiden können. Stellen wir hiernach die aufgeführten Elementenpaare zusammen, so erhalten wir folgende Uebersicht.

Die Paare aus starren Elementen.

	Klasse	Gattungen			Arten		
I.	$(\tilde{S}_,)$		(S)		(S)	(R)	(P)
II.	$(\tilde{H}_,)$	$(\tilde{H}_,)$	$(\tilde{K}_,)$	$(\tilde{C}_,)$	$(H_,)$	$(K_,)$	$(C_,)$
III.	$(\tilde{H}_z)$	$(\tilde{H}_z)$	$(\tilde{K}_z)$	$(\tilde{C}_z)$	(H_z)	(K_z)	(C_z)
IV.	$(\tilde{H}_{\bar{z}})$	$(\tilde{H}_{\bar{z}})$	$(\tilde{K}_{\bar{z}})$	$(\tilde{C}_{\bar{z}})$	$(H_{\bar{z}})$	$(K_{\bar{z}})$	$(C_{\bar{z}})$
V.	$(\tilde{H}_.)$	$(\tilde{H}_.)$	$(\tilde{K}_.)$	$(\tilde{C}_{\bar{z}})$	$(H_.)$	$(K_.)$	$(C_.)$
VI.	$(\tilde{H}_{z;})$	$(\tilde{H}_{z;})$	$(\tilde{K}_{z;})$	$(\tilde{C}_{z;})$	$(H_{z;})$	$(K_{z;})$	$(C_{z;})$
VII.	$(\tilde{H}_{z:})$	$(\tilde{H}_{z:})$	$(\tilde{K}_{z:})$	$(\tilde{C}_{z:})$	$(H_{z:})$	$(K_{z:})$	$(C_{z:})$

Wir haben hier sieben Klassen von Paaren, welche die Gesammtheit der hier in Betracht kommenden Paare und ihrer vielgestaltigen Ausführungen in sich begreifen. Jene besonderen Gattungen und Arten, welche beim Uebergang von C in P, sowie auch von H in H^o und K in K^o entstehen, können als Varietäten der Gattungen und Arten durchweg nebenhergeführt werden. Fälle,

welche scheinbar aufs äusserste verwickelt sind, wie z. B. die Patronen oder Rosetten der Guillochirmaschinen mit ihren Führstiften, sind in unserer Eintheilung mit einbegriffen; diese, oftmals in den freiesten Formen gehaltenen Paare zählen in Klasse II. Ganz freie räumliche Gestaltungen lassen sich nöthigenfalls unter die Klasse I. bringen. Im Ganzen ist die erhaltene Zahl klein ausgefallen, trotzdem wir in der bestimmten Unterscheidung von Eigenthümlichkeiten, welche man am Ende auch noch unter anderen Formen hätte mit einrechnen können, wie z. B. Klasse VI und VII nicht sparsam gewesen sind. Der Hinblick auf den praktischen Zweck unserer Untersuchung liess es aber angemessen erscheinen, die Eintheilung recht deutlich zu machen.

§. 147.

Elementenpaare mit Zugkraftorganen.

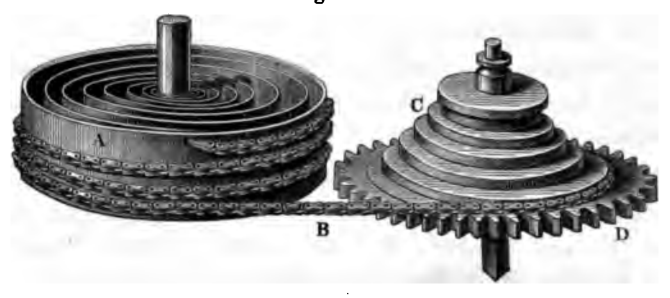
Die Zugkraftorgane Band T_p, Seil T_s, Draht T_c, Gliedkette T_z, Gelenkkette T_r, haben hinsichtlich der Art und Weise, in Elementenpaare einzugehen, Eigenschaften, welche in dem Symbol T allein mit ausgedrückt sind. Wir brauchen deshalb bloss dieses aus der ganzen Reihe bei der Klassenbildung zu berücksichtigen. Die Paarung von T mit anderen Elementen findet so statt, dass dem Kraftschluss, und zwar einem durch Zug bewirkten, stets Rechnung getragen wird. Das Organ T wird deshalb nur um „positiv" *) gestaltete starre Elemente herumgelegt, mehr oder weniger herumgewickelt, zu welchem Ende dem starren Elemente eine besondere Formung zu Theil wird.

Fangen wir wieder bei der Schraube an, so finden wir in der Verbindung von T mit S sowohl niedere als höhere Formen vielfach in Anwendung. Die gewöhnliche Kettentrommel eines Krans bietet uns das Paar S,T, welches wir verkürzt (S,t) schreiben können; ganz dieselbe allgemeine Formel gilt für die cylindrische Seiltrommel, um welche sich ein Seil schraubenförmig herumlegt, indem hier der Cylinder als Schraube aufzufassen ist (vergl. §. 15). Höhere Schrauben, $\tilde{S}$, sind gar nicht selten mit T gepaart zu finden, so in der Kettenschnecke der Spindeluhr, Fig. 372, auch der

*) Siehe §. 56.

konischen Schneckentrommel, welche neuerdings für die Fördermaschinen der Gruben wieder sehr in Gebrauch kommt, ebenso in

Fig. 372.

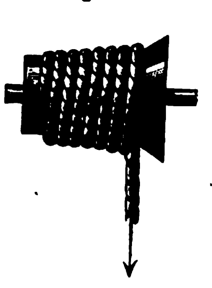


der Seilschnecke des Spinnstuhles, Fig. 373. Auch das Konoid mit schraubenförmiger Seil-Bewicklung, Fig. 374, gehört hierher. Wir

Fig. 373.

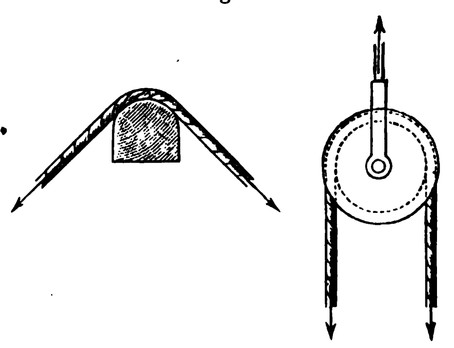


Fig. 374.



haben also hier Vertreter der Elementenpaare der Klasse $(\tilde{S},t)$ vor uns, zu welcher die vorhin angezogene Gattung (S,t) als weniger hohe Form gehört. Beim Uebergang von S in R erhalten wir die Art (R,t), wovon Fig. 375 zwei Beispiele darstellt.

Fig. 375.



Die nächste Klasse wird durch die Paarung von T mit $\tilde{H}$ geliefert, und heisst $(\tilde{H},t)$. Als Vertreter der Art $(\tilde{C},t)$ ist das Paar aus Seiltrommel und Band-

seil, welches letztere sich in wiederholten Spiralwindungen auflegt, anzuführen.

Mit $\tilde{H}_z$ lässt sich die Kette T_z paaren. Es entsteht die Klasse $(\tilde{H}_z,t)$ mit vielen Anwendungen.

Die Verbindungen des Elementes T mit den starren Elementen $\tilde{H}_{\bar{z}}$ und $\tilde{H}_{z}$ können in die Klasse $(\tilde{S},t)$ gezählt werden; wir brauchen sie deshalb hier nicht gesondert aufzuführen.

Gesperre, welche auf Zugkraftorgane angewandt sind, kommen vor, ja sind neuerdings wieder häufiger geworden. Sie sind sowohl einseitig wirkend, d. i. als laufende Gesperre ausgeführt, wie bei Flaschenzügen, als auch zweiseitig wirkend oder als ruhende Gesperre; letzteres in der Fowler'schen Klappentrommel, siehe Fig. 376, welche für den Betrieb des Dampfpfluges und für die

Fig. 376.

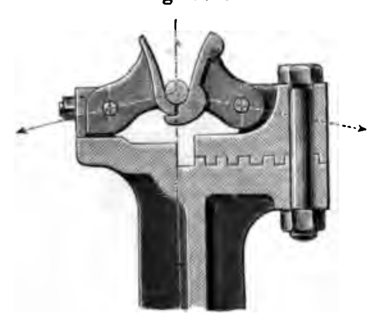
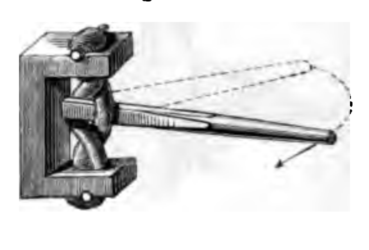


Fig. 377.



Schiffstauerei so ausgezeichnete Dienste leistet. Wir haben somit die beiden Klassen $(\tilde{H},t;)$ und $(\tilde{H},t:)$ nicht bloss als theoretisch angebbar, sondern auch als praktisch belegt anzuführen. Ist in einem Gesperre der vorliegenden Art T in der Form T_z, d. i. als Gliedkette ausgeführt, wie z. B. im Bernier'schen Aufzug, so kommt statt H das Element H_z zur Verwendung. Somit sind auch die beiden Klassen $(\tilde{H}_z,t;)$ und $(\tilde{H}_z,t:)$ aufzuzählen.

Wir hätten somit die sieben Klassen der starren Elemente durchlaufen und bei jeder die Einführung des Zugkraftorganes möglich gefunden. Noch ist aber eine letzte Paarung ausführbar. Es ist diejenige des Zugkraftorganes mit seines Gleichen. Wir besprachen diesen Fall bereits in §. 131 bei der Erörterung des Spinnprozesses, haben aber auch in der Wrillfeder, Fig. 377, ein

Beispiel vor uns, woselbst die deutliche Paarung T,T als eine schon sehr früh benutzte uns begegnet. Das Symbol für diese Klasse von Elementenpaaren ist $(T,)$.

§. 148.

Elementenpaare mit Druckkraftorganen.

Das Druckkraftorgan Q nimmt, wie wir aus §. 56 wissen, mehrere besondere Formen an, nämlich die flüssige Q_λ, die gasförmige Q_γ, und die körnige oder kugelige, $Q_{\bar{g}}$ oder Q_g. Obwohl diese Formen nicht wenig von einander verschieden sind, lassen sie sich doch hinsichtlich der kinematischen Paarung durch das allgemeine Symbol Q ausdrücken.

Das Element Q kann vermöge des Umstandes, dass es in allen Richtungen mit Ausnahme derjenigen auf Zusammendrückung als widerstandslos anzusehen ist, auf die mannigfachste Weise mit starren Elementen gepaart werden. Daher ist seine Paarung mit allen den Elementen aus den Paarklassen I bis V, §. 146, ausführbar, indem man einen der beiden gleichen Partner jener Paare durch ein Druckkraftorgan ersetzt. Die Turbine, die Schiffsschraube, das Wasserrad, die Kapselräderwerke, die Knetmaschinen u. s. w. liefern hierzu zahl- und formenreiche Beispiele. Wir erhalten demnach hier die Klassen:

$$(\tilde{S}_{,q})\ ,\ (\tilde{H}_{,q})\ ,\ (\tilde{H}_{:,q}).$$

Noch liessen sich die Klassen $(\tilde{H}_{\bar{:},q})$ und $(\tilde{H}_{:,q})$ unterscheiden; wir können dieselben indessen ganz wohl unter $(\tilde{S}_{,q})$ mit einrechnen.

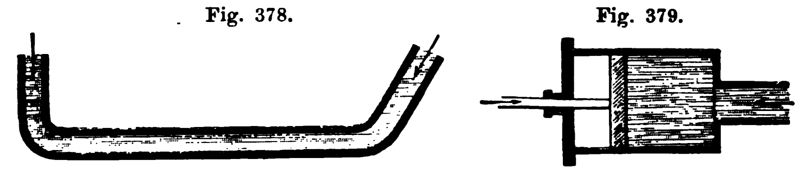
Ferner aber finden auch die Gesperre, und zwar sowohl die laufenden, als die ruhenden, bei den Druckkraftorganen Anwendung, nämlich in der Form der Ventile, wie wir aus §. 126 wissen. Fassen wir das Sperrstück auch hier als Zahn, Z, auf, was im Hinblick auf die Formen der Gesperre aus starren Elementen sehr wohl angeht, so haben wir hier wiederum zwei Paarklassen zu verzeichnen, welche wir schreiben können:

$$(Q_{,z};)\ \text{und}\ (Q_{,z}:).$$

In keinem der vorgeführten Fälle ist übrigens die Paarung statthaft, ohne dass nicht gleichzeitig eine andere ausgeführt wäre,

diejenige nämlich des Druckkraftorganes mit dem Gefässe oder der Kapsel V^-, Fig. 378. Derselben steht ausserdem gegenüber die

Fig. 378. Fig. 379.



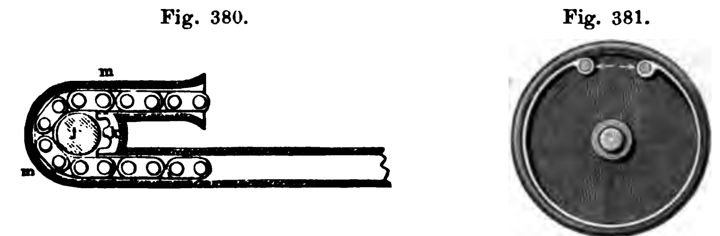
Paarung mit dem Verdränger oder Kolben V^+, Fig. 379, so dass wir diese Klasse von Elementenpaaren im allgemeinen schreiben können:



$$(V_{,q}).$$

Schon früher, §. 41, haben wir gesehen, dass diese Art von Paarung sich auch auf die Zugkraftorgane ausdehnen lässt und ausgedehnt findet, wie bei der im Gerinne geführten Gelenkkette, Fig. 380, und bei der Druckgurtbremse, Fig. 381; auch wissen wir,

Fig. 380. Fig. 381.



dass dasselbe Prinzip in gewissen Arbeitsmaschinen zur Herstellung von Drahtwaaren Anwendung findet. Wir sind indessen nicht genöthigt, deshalb eine Klasse von der Form (V,t) aufzustellen, sondern können in den angeführten Fällen das verwendete bildsame Element als ein Druckkraftorgan ansehen. Somit hat es denn bei der Klasse $(V_{,q})$ sein Bewenden.

Eine andere, bemerkenswerthe Paarung von Q ist aber diejenige mit T. In der That kann Q ganz gut mit einem Zugkraftorgan gepaart werden, wenn letzteres die Form T_z oder T_r, d. i. diejenige der Kette aus Gliedern oder Gelenkstücken besitzt.

Die Paternoster-Pumpwerke, seien sie mit Kübeln, seien sie mit Kolbenplatten ausgerüstet, die Becherwerke der Mühlen und der Getreidespeicher, die Baggermaschinen u. s. w. geben sattsam Beispiele hierzu ab. Man könnte darauf kommen, die gefässförmige Gestalt der Kettenglieder in dem Zeichen besonders auszudrücken, z. B. ein mit Zellen ausgerüstetes Zugkraftorgan T_v zu nennen;

allein diese Ausführlichkeit ist entbehrlich, da die Anschreibung einer Paarung zwischen T_z und Q schon an sich ja ausdrücken kann, dass die geeignete Ausrüstung des Zugkraftorgans, vermöge dessen es das Druckkraftorgan mit sich fortzuführen vermag, vorhanden sei; mit anderen Worten: wir setzen die Möglichkeit der Paarung von T mit Q da immer schon voraus, wo wir bis zur Bildung einer Formel für ein solches Paar vorgehen. Manchmal bedarf es übrigens gar keiner besonderen Ausrüstung, wie die Vera'sche sogenannte Seilpumpe zeigt, bei welcher ein blosses Seil, T_s, durch Adhäsion Wasser in die Höhe führt*). Somit haben wir denn hier eine Klasse von Elementenpaaren vor uns, welche in der Praxis reich vertreten ist, und können dieselbe unter dem allgemeinen Zeichen $(T,_q)$ zusammenfassen.

Endlich sind noch, analog der Paarung von T mit T, Paarungen von Q mit Q ausführbar. Dieselben treten uns in ziemlicher Häufigkeit in einer Form entgegen, welche wir durch das Zeichen $(Q\gamma,\lambda)$ ausdrücken können; es handelt sich um die Windkessel der Pumpen, Wassersäulenmaschinen, Spritzen, um die Spiralpumpen, Wassertrommelgebläse u. s. w. Allgemein können die Paare dieser Klasse unter dem Zeichen $(Q,)$ zusammengefasst werden.

§. 149.

Zusammenfassung der Paare mit bildsamen Elementen.

Bei der summarischen Aufzählung der letztgefundenen Elementenklassen können wir uns damit begnügen, die allgemeinen Klassenzeichen zusammenzustellen, da wir das Verfahren der weiteren Eintheilung in Gattungen und Arten bereits bei den Paaren aus starren Elementen kennen gelernt haben. Zu den sieben dort unterschiedenen Klassen gesellen sich nunmehr:

a) für die Zugkraftorgane die sechs folgenden Klassen:

VIII.	$(\tilde{S},t)$	XI.	$(\tilde{H},t;)$
IX.	$(\tilde{H},t)$	XII.	$(\tilde{H},t:)$
X.	$(\tilde{H}_z,t)$	XIII.	$(\tilde{T},)$

*) Die Seilpumpe, auch Wasserseilmaschine genannt, wird häufig Brunel, dem Erbauer des Themsetunnels, zugeschrieben. Sie ist bedeutend älter. Ausführliches bei Langsdorf, Maschinenkunde II, S. 226, auch Hachette, traité él. S. 134.

b) für die Druckkraftorgane die acht folgenden Klassen:

XIV.	$(\tilde{S}_{,q})$	XVIII.	$(Q_{,z}:)$
XV.	$(\bar{H}_{,q})$	XIX.	$(V_{,q})$
XVI.	$(\tilde{H}_{z,q})$	XX.	$(T_{,q})$
XVII.	$(Q_{,z};)$	XXI.	$(Q_{,})$.

Ist das Druckkraftorgan insbesondere eine Flüssigkeit, so kann in der Schreibung das q durch ein λ, beziehungsweise ein γ ersetzt werden.

Ein grosser Theil der in diesen 21 Klassen enthaltenen Elementenpaare konnte durch Beispiele als vorhanden belegt werden; manche derselben finden sich noch nicht in der Praxis vor. Hier ist nicht mehr der Ort, ausführlicher auf die einzelnen Paare einzugehen. Unsere Untersuchung hat aber das bemerkenswerthe Ergebniss geliefert, dass die ganze Reihe der möglichen Elementenpaare übersehbar ist, sowie dass sich dieselben sämmtlich synthetisch bestimmen lassen. Hier dürfen wir so verfahren, als ob dies bereits geschehen sei, und uns nunmehr zu der synthetischen Aufsuchung der kinematischen Ketten wenden.

§. 150.

Aufsuchungsweise der einfachen Ketten.

Mit den kinematischen Ketten können wir nicht so bestimmt und unmittelbar verfahren, als es mit den Paaren möglich war. Während uns bei den letzteren die in Kap. II beleuchtete übersichtliche Formenreihe der Axoide einen festen Anhalt bot, können wir hier davon nur einen nebensächlichen Gebrauch machen, da sehr verschiedene Ketten einerlei Axoidgattungen zwischen ihren Gliedern aufzuweisen vermögen. Es wäre der Weg denkbar, dass wir eine um die andere Kombination von Paaren zu zweien, dreien, vieren, u. s. w. prüften, indem wir jedesmal die Lage der Paare im Kettengliede regelmässig variirten. Allein die Weitschichtigkeit dieses Verfahrens und die sichere Voraussicht, dass viele der Kombinationen sich als unnütz, unbrauchbar oder gar unmöglich erweisen würden, lassen es zweckmässig erscheinen, andere Verfahrungsweisen, sei es auch auf Kosten der äusseren Regelmässigkeit, zur Anwendung zu bringen.

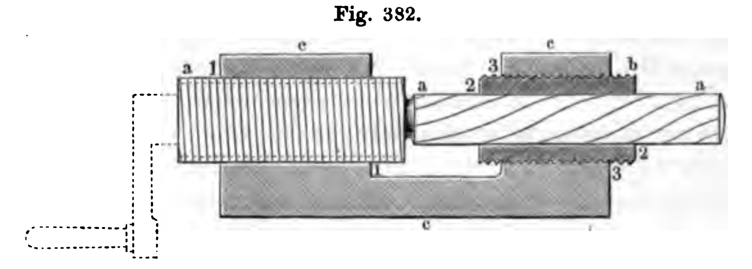
Wir wollen, wie es bei der mathematischen Forschung nicht selten geschieht, im allgemeinen ein induktives Verfahren einschlagen, und in jeder Problemreihe den insbesondere zu wählenden Weg den Umständen anpassen, mit anderen Worten auf jede Weise den Problemen beizukommen suchen. Ueberhaupt haben wir uns unsere Aufgabe hier so zu denken, dass augenblicklich die Synthese der Ketten nur mehr zu markiren, als vollständig durchzuführen sei. Aus den angeführten Gründen beginnen wir auch nicht mit der allgemeinen, irgendwie zusammengesetzten, sondern mit der einfachen Kette, die wir ja in wichtigen Grundeigenschaften schon genauer kennen. Gute Dienste kann uns hier der am Schluss von Kapitel XI gefundene Satz leisten, wonach die zwangläufige Kette in der Reihe der herstellbaren Gliedverbindungen zwischen einer übermässig und einer zwanglos geschlossenen Verbindung mitten inne liegt. Wir können nämlich demnach aus einer sich darbietenden übermässig geschlossenen Verbindung durch induktives Zufügen von Gliedern, aus einer zwanglos geschlossenen durch induktives Herausnehmen von Gliedern zur zwangläufig geschlossenen Kette gelangen. In der Reihenfolge der Probleme wollen wir suchen, einigermaassen derjenigen der Paare treu zu bleiben, ohne uns indessen daran allzufest zu binden.

§. 151.

Die Schraubenkette (S_3').

Verbindet man drei konaxiale Schraubenpaare zu einer einfachen Kette, so erhält man die in Fig. 382 dargestellte Einrichtung,

Fig. 382.



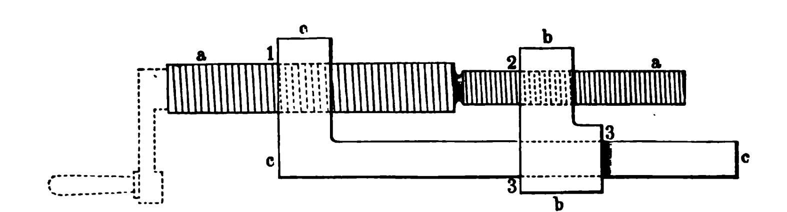
welche wir alsbald konzentrirt anschreiben wollen. Die Formel lautet (S_3'). Diese Kette bildet eine Klasse für sich. Die drei

Aufstellungen auf a, b und c liefern drei von einander dem Wesen nach nicht verschiedene Getriebe. Es ist mir nicht bekannt, ob eines derselben sich in der Praxis findet.

Neben der Gattung, welche die Klasse (S'_3) selbst vorstellt, hat sie besondere Gattungen, welche dadurch entstehen, dass die eine oder andere der Schrauben in einen der Grenzfälle $S^\infty = P$ oder $S^0 = R$ oder C übergeht.

In der in Fig. 383 dargestellten Kette sind die Paare 1 und $2 = (S)$ geblieben, 3 in $(S^\infty) = (P)$ übergeführt; die Formel lautet

Fig. 383.



(S'_2P'). Aus dieser Kette lassen sich zwei Arten von Mechanismen bilden. Die Getriebe $(S'_2P')^c$ und $(S'_2P')^b$ sind gleicher Art. Sie sind unter dem Namen der Differenzialschraube, deren Erfindung sowohl Prony als White zugeschrieben wird, bekannt. Der Leser ist durch unsere früheren Untersuchungen in den Stand gesetzt, in der sogenannten Hunter'schen Presse*), dem Differenzial-Schraubstocke**) u. s. w. nur solche Abänderungen von $(S'_2P')^c$ zu erblicken, welche durch Paarumkehrung und angemessene konstruktive Lagerung entstehen. Der Mechanismus $(S'_2P')^a$ scheint bisher nicht angewandt zu sein.

Macht man die Paare 2 und $3 = (S)$, Paar $1 = (S^0) = (C)$, so entsteht die in Fig. 384 dargestellte Kette (S'_2C'), welche die beiden Mechanismenarten $(S'_2C')^c = (S'_2C')^a$ und $(S'_2C')^b$ liefert. Letzteres Getriebe scheint neu; ersteres ist angewandt, u. a. mit Glück von Skinner in einem Steuerrudergetriebe***), welches indessen ein zusammengesetztes Getriebe ist.

Wird das Paar $1 = (S^0) = (C)$, das Paar $(3) = (S^\infty) = (P)$ gemacht, Paar 3 allein $= (S)$ belassen, so entsteht die von uns

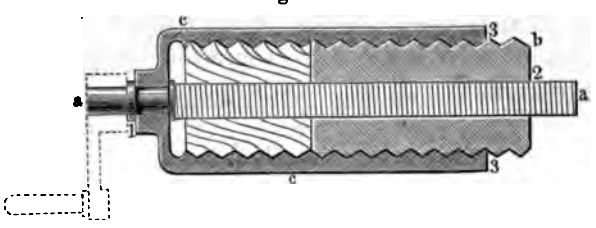
*) S. Moseley, Ingenieurkunst (deutsch von Scheffler) I, S. 457.

**) Siehe ebenda S. 456, auch Weisbach Mech. III. 1. S. 288.

***) Engineer, 1868, Bd. XVI. S. 182.

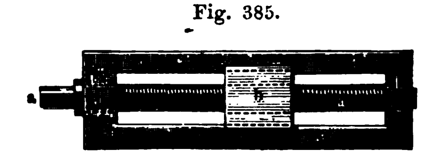
schon wiederholt betrachtete Kette $(S'P'C')$ Fig. 385. Sie liefert die drei Mechanismen $(S'P'C')^{c}$, $(S'P'C')^{b}$ und $(S'P'C')^{a}$, von

Fig. 384.



denen namentlich der erste, wie wir wissen, zahlreiche Anwendungen findet (vergl. §§. 43 und 107).

Fig. 385.



Die Synthese hat uns hier, wie wir sehen, vier Kettengattungen, welche sieben Mechanismen ergeben, geliefert, drei dieser Mechanismen erscheinen neu. Wenden wir nun hier alsbald die Methode an, eines der starren Elemente durch ein bildsames zu ersetzen.

Die Einführung von Zugkraftorganen liefert keine brauchbaren Ergebnisse, wohl aber die der Druckkraftorgane. Ersetzen wir zunächst in der letztgefundenen Kette $(S'P'C')$ das Glied b durch eine Flüssigkeit, so können wir aus derselben verschiedene gangbare Mechanismen bilden. Die ausführliche Formel lautet:

$$\overset{a}{C^{+} \ldots | \ldots S,} \overset{b}{Q \ldots\ldots Q}, \overset{c}{P \ldots | \ldots C^{-}_{=}}$$

und, wenn die Kette auf Glied c gestellt wird, konzentrirt: $(S'_{,q}P'_{,q}C')^{c}$. Wählen wir nun a als treibendes Glied, so erhalten wir die Maschine $(S'_{,q}P'_{,q}C')^{\frac{c}{a}}$. Diese Formel stellt dar: die Schraubenpumpe, die archimedische Wasserschraube, den Schraubenventilator, das Hauptgetriebe der Schlickeysen'schen Thonpresse u. s. w.

Ist bei demselben Mechanismus das Druckkraftorgan b das treibende Kettenglied, worauf die Formel wird: $(S'_{,q}P'_{,q}C')^{\frac{c}{b}}$, so stellt diese die einfache Schraubenturbine ohne Leitrad dar*).

Stellen wir b fest und lassen a treibend wirken, so erhalten wir die Formel $(S'_{,q}P'_{,q}C')^{\frac{b}{a}}$, welche das Hauptgetriebe des Schrau-

*) Z. B. die bei Leblanc beschriebene Turbine der Mühle von St. Maur.

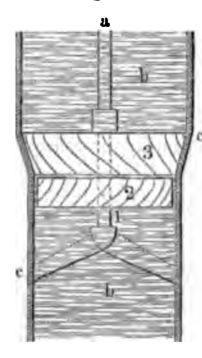
benschiffes vorstellt; und zwar ist a die Triebschraube, c das Schiff mit Steuer, b das Wasser.

Auch das Getriebe in Fig. 384 ist in einer bekannten Maschine angewandt. Ersetzen wir nämlich wieder b durch ein Druckkraftorgan, insbesondere durch eine tropfbare Flüssigkeit, so lautet die ausführliche Formel:

$$\overset{a}{C^+ \ldots |} \ldots \overset{b}{S, Q_\lambda \ldots Q_\lambda, S} \ldots \overset{c}{| \ldots C^-_=}$$

Die Kette auf c stellend und die Flüssigkeit Q_λ zum treibenden Gliede machend, erhalten wir das Getriebe $(S'_{,\lambda_2} C')^{\frac{c}{b}}$, welches dasjenige der Jonval- oder Henschel-Turbine, Fig. 386, ist. Wegen der Güte der Wasserwirkung werden die beiden Schrauben 2 und 3 als höhere Schrauben ausgeführt, wonach denn bei strengerem Eingehen für $S_{,\lambda}$ das Zeichen $\tilde{S}_{,\lambda}$ zu setzen wäre.

Fig. 386.



Abermals haben sich hier verschiedene Maschinen nebeneinanderstellen und auf dieselbe kinematische Kette zurückführen lassen, welche in der Maschinenpraxis weit auseinanderliegen. Auf andere Schraubenketten werden wir in §. 154 stossen.

§. 152.

Cylinderketten.

Schon weiter oben, Kapitel VIII., haben wir Gelegenheit gehabt, die aus Cylinderpaaren gebildeten Ketten in den Formen (C''_4) und $(C^{\perp}_4)$ kennen zu lernen, und zwar ordneten wir dieselben in 12 Klassen und fanden den letzteren 54 Mechanismen angehörig. Thatsächlich war unsere damalige Untersuchung mit einer rein synthetischen sehr nahe verwandt, so dass wir sie hier dafür nehmen können, um Wiederholungen zu vermeiden. Sehen wir daher zu, welche einfachen Ketten sich ferner noch aus den Elementenpaaren von der Form (C) bilden lassen.

Wenn wir vorerst auf drei Cylinderpaare, die zu einer einfachen Kette verbunden werden, zurückgehen, so bemerken wir,

dass sich diese zwar verketten lassen, aber nur übermässig geschlossene Verbindungen liefern, Fig. 387, die also ausser Betracht fallen.

Fünf Stück parallel oder konisch geordneter Cylinderpaare in einfacher Kette liefern eine zwanglos geschlossene, also ebenfalls ausser Betracht fallende Verbindung. Wenn man aber

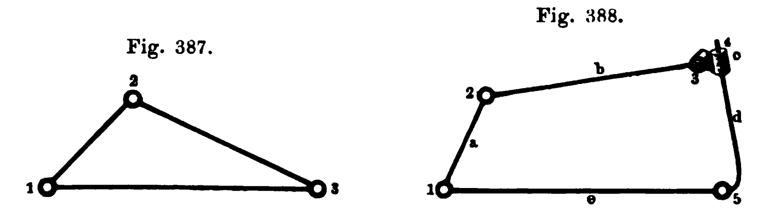


Fig. 387. Fig. 388.

zwischen parallele Cylinderpaare geneigte oder geschränkte einschaltet, z. B. in der Weise, wie es Fig. 388 andeutet, so kann man fünf Cylinderpaare zu einer einfachen Kette vereinigen. Die Paare 3 und 4 bilden hier ein Kreuzgelenk, welches unter den möglichen Drehungen von d gegen b auch diejenige gestattet, welche bei direkter Paarung beider erreichbar wäre. Dieser Fall ist indessen nur ein besonderer der sechsgliedrigen Cylinderkette, welche Fig. 389 in zwei Formen darstellt. Hier sind auch die Achsen 1

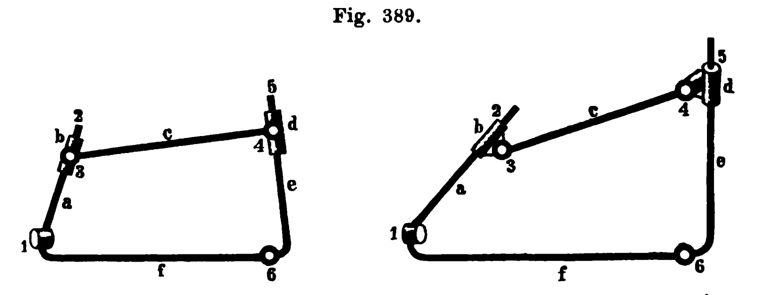


Fig. 389.

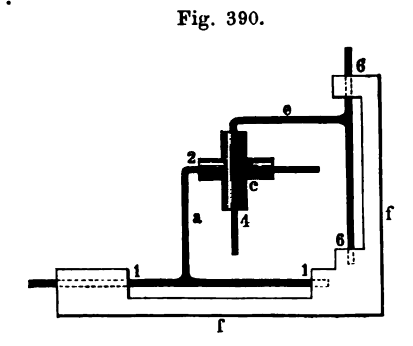
und 6 geschränkt angenommen, ausserdem sowohl bei 2 bis 3, als bei 4 bis 5 Kreuzgelenke oder geschränkte Gelenke eingeschaltet, wie in der Zeichnung schematisch angedeutet ist. Man könnte in den Gliedern a, c, e, f eine geschränkte Kurbelkette erblicken, welcher die Doppelgelenke bei 2 bis 3 und 4 bis 5 die erforderliche Beweglichkeit geben. Geschränkte Kurbelgetriebe, welche aus dieser Kette gebildet sind, kommen in der Maschinenpraxis vor, z. B. bei Hobelmaschinen zur Hin- und Herbewegung eines

hebelförmigen Riemenführers. In der That ist die Kette reich an besonderen Fällen, in welche sie übergehen und Mechanismen liefern kann. Man kann sie allgemein mit dem Zeichen ($C_6^{\ddagger}$) schreiben. Die besonderen Formen, in welche sie übergeht, systematisch durchzunehmen, würde hier viel zu weit führen, wie der Hinblick auf die weit einfachere Kette (C_4''), Kap. VIII, ermessen lässt. Doch ist es am Platz, einige einzelne Fälle, die die Praxis uns bietet, in aller Kürze zu besprechen.

Es ist nämlich zu bemerken, dass die Praxis die Anwendungen von (C_6^+) gerne noch so ausführt, dass das Prinzip der Verminderung der Gliederzahl (vergl. §. 76) zur Anwendung gebracht wird. Um das richtige Verständniss zu erlangen, muss die Analyse die weggeminderten Glieder wieder einfügen oder eingefügt annehmen.

Als Beispiel sei der in Fig. 390 dargestellte Mechanismus angeführt. Er dient hie und da noch als Getriebe zur Viertelsdrehung von Weichensignalen, deren man eines mit e verbunden anzunehmen hätte. Von den vorhandenen Gliedern sind c und f rechtwinklig geschränkt, a und e haben parallele Cylinder; die Glieder b und d sind weggemindert. Demzufolge vollzieht c mit seinen beiden geschränkten Hohlcylindern 2 und 4 auf den Vollcylindern an a und e höhere Schraubenbewegungen. Um die Kette wieder vollständig zu machen, hätte man die beiden Glieder b und d, jedes von der Form $C^- \ldots \| \ldots P^+$ einzuschieben und die Elemente an c prismatisch (als Hohlprismen) zu gestalten.

Fig. 390.

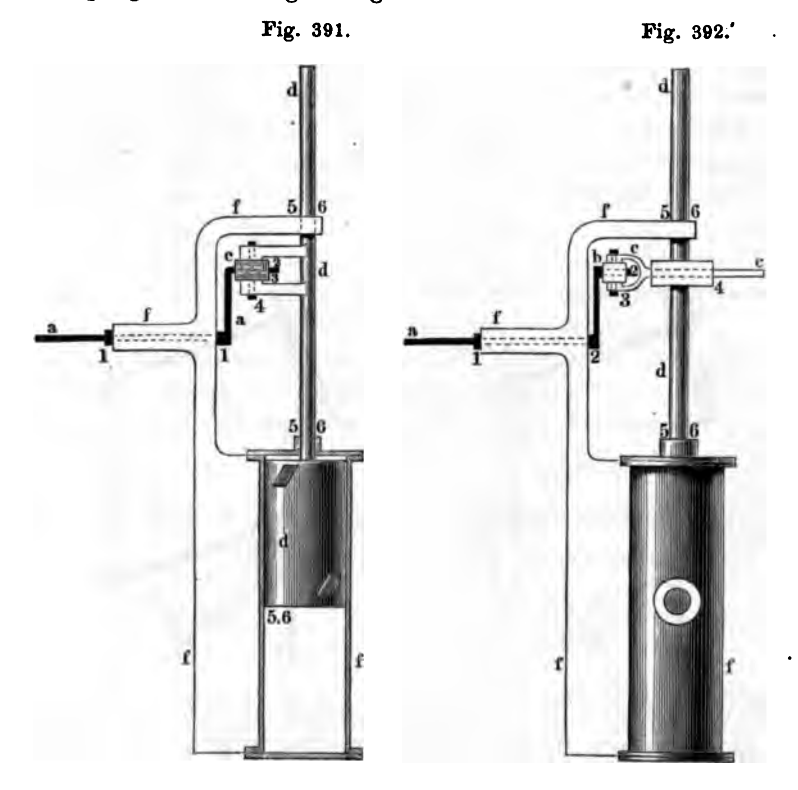


Ein anderes Beispiel liefert ein Mechanismus, welchen Robertson für die Dampfmaschine vorgeschlagen hat*), siehe Fig. 391. Das Glied a hat die Form $C^+ \ldots \| \ldots C^+$; das Glied b, $= C^- \ldots \| \ldots P^+$, ist weggemindert, das Glied c aber vorhanden. Wegen der Wegminderung von b hat es nicht seine eigentliche Form $P \ldots \perp \ldots C$,

*) Artizan, 1871 (Bd. XXIX.) S. 2; siehe auch Revue industrielle, 1874, Juni, S. 192; danach Dingler's Journal 1874, Bd. 213. S. 183.

sondern die Form $C \ldots \perp \ldots C$ erhalten. Es wird erfasst von dem Gliede $d = C \ldots \| \ldots C$. Dieses Glied benutzt Robertson als Kolbenstange, d. i. als treibendes Glied der Kette, hat aber zugleich das Glied $e = C \ldots \| \ldots P$ noch weggemindert, so dass der Kolben d eine geradlinig hin- und hergehende und zugleich oscillatorisch drehende Bewegung zu machen gezwungen ist. Die konzentrirte Formel des

Fig. 391. Fig. 392.



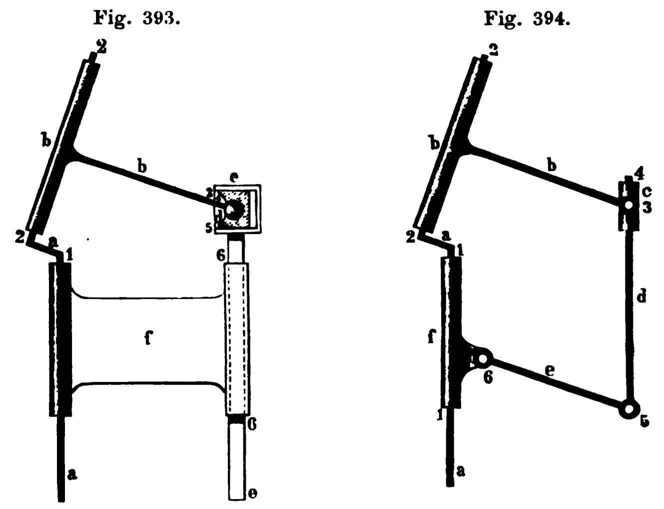
Mechanismus würde lauten ohne Verminderung: $(C''C''P^{\perp}C'C''P^{\perp})^{\frac{f}{d}}$, also bei der stattgehabten Verminderung um b und e, und wenn man die aufeinanderfolgenden Zeichen gleicher Art noch zusammenzieht:

$$(C_2''P^{\perp}C_2''P^{\perp})^{\frac{f}{d}} - b - e.$$

Ob die vorgeschlagene Maschine zweckmässig sei oder nicht, lassen wir unerörtert; sie dient uns aber hier als ein Probestück der empirischen Synthese, welcher die Schaffungsfreude über alle Ausführungsschwierigkeiten hinaushilft.

Robertson hat die Maschine auch noch in einer anderen Form der Kette zur Ausführung gebracht, siehe Fig. 392 (a. v. S.). Hier ist nur e weggemindert, die Aneinanderreihung der Glieder aber etwas anders gewählt. Sie lautet bei Vervollständigung der Kette um e: $(C''C^{\perp}\dot{C}^{\perp}P^{\perp}C''P^{\perp})\frac{f}{d}$, also, möglichst gedrängt geschrieben, und bei Andeutung der Verminderung: $(C''C_2^{\perp}P^{\perp}C''P^{\perp})\frac{f}{d} - e$. Es wird dem Leser nicht schwer werden, noch andere als die hier vorgeführten Formen der Kette (C_6^{+}) aufzufinden. Einzelne derselben können immerhin noch praktisch nützliche Anwendungen finden.

Als letztes Beispiel sei der in Fig. 393 dargestellte Mechanismus angeführt. Brown hat denselben u. a. im Hauptgetriebe einer



Kolbendampfmaschine angewandt*); früher ist dies bereits, wenn ich nicht irre, von Maudslay geschehen [53]). Hier hat das Glied a die Form:

$$C^{+} \ldots \angle \ldots C^{+},$$

das Glied b diejenige $C^{+} \ldots \square \ldots G$, d. h. besteht aus einem Cylinder und einer Kugel, welche letztere in dem Querschieber d ihren Partner findet. Das Kugelgelenk, auf welches wir hier stossen, ist nichts anderes als das Resultat der Wegminderung eines Kreuzgelenkes, und zwar des Gliedes $c = C^{-} \ldots \perp \ldots C^{-}$, welches wir uns

*) Engineering 1867 (Febr.) S. 158. Auch den Steuerungsschieber der betreffenden Dampfmaschine betreibt Brown mittelst einer Kette der vorliegenden Art.

an d mit C^+ eingelenkt zu denken haben. Die Kugel wurde deshalb in der Figur mit 3.4 bezeichnet. Der Schieber

$$e = P^+ \ldots \perp \ldots P^+$$

dient in der erwähnten Dampfmaschine als treibendes Glied, nämlich als Kolbenstange. Somit lautet die konzentrirte Formel des Mechanismus $(C^{\llcorner} C^+ C_2^{\perp} P^{\perp} P^+)^{f}_{e} - c$. Um den Vergleich mit der allgemeinen Form (C_6^+) zu erleichtern, stelle ich in Fig. 394 die Kette so dar, dass die beiden Prismenpaare, welche wir ja als R^{∞} oder C^{∞} ansehen können, durch Cylinderpaare 5 und 6 ersetzt sind. Die Formel des so umgestalteten Mechanismus, bei Stellung derselben auf f, lautet: $(C^{\llcorner} C^+ C_2^{\perp} C'' C^+)^{f}$.

Die vorstehenden Beispiele werden genügen, um die Bedeutung der Kette (C_6^+) ins Licht zu setzen und der noch ausstehenden vollständigen Synthese derselben als eine Art von Anhalt zu dienen. Die Kette (C_6^+) ist indessen immer noch nicht die reichste der aus Cylinderpaaren herstellbaren einfachen Ketten.

Stellt man nämlich die sechs Cylinderpaare so, dass **jedes** derselben zu seinen beiden Nachbaren gekreuzt oder geschränkt steht, Fig. 395 und 396, so kann der Schluss der Kette wieder ein übermässiger werden, wie es in den beiden dargestellten Ketten der Fall ist. Um diesen übermässigen Schluss aufzuheben, schalten wir an geeigneter Stelle ein siebentes Cylinderpaar ein, welches irgend eines der Glieder in zwei auflöst. Fig. 397 stellt eine derartige Kette, welche somit eine **siebengliedrige Cylinderkette** ist, dar. Wir werden sie allgemein mit dem Zeichen (C_7^+) auszudrücken haben. Sie ist, wie mir scheint, die gliederreichste, einfache, zwangläufige Kette aus niederen Paaren, die es gibt. Ob sie in der allgemeinen hier vorge-

Fig. 395.

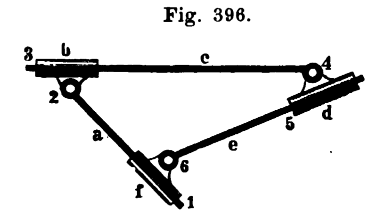


Fig. 396.

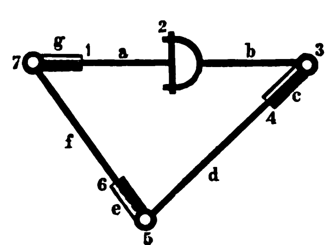


Fig. 397.

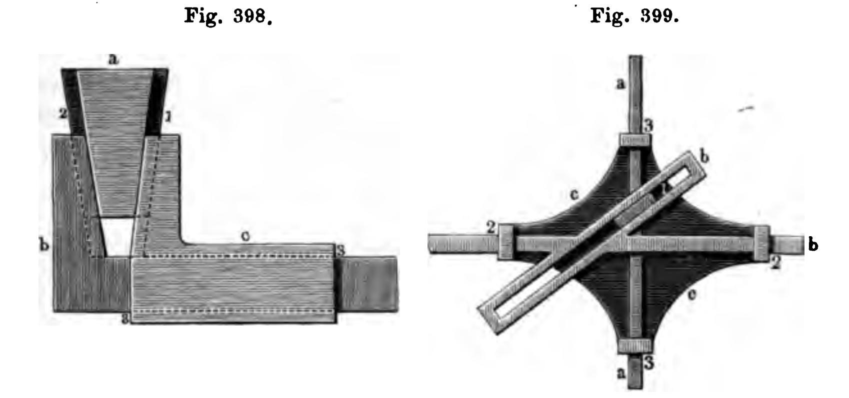
führten Form bereits Anwendung gefunden hat, ist mir unbekannt und sehr zweifelhaft. Auf ausführlichere Untersuchung wollen wir hier nicht eingehen, da wir weiter unten noch nahe verwandte Fälle zu besprechen haben werden.

§. 153.

Prismenketten.

Die dreigliedrige Prismenkette (P_3^L), von uns auch Keilkette genannt, hat uns bei mehreren Untersuchungen bereits vorgelegen, vergl. §§. 64 und 108. Die Figur 398 stellt dieselbe in einer uns bekannten Form dar; Fig. 399 zeigt sie in einer anderen Form, in

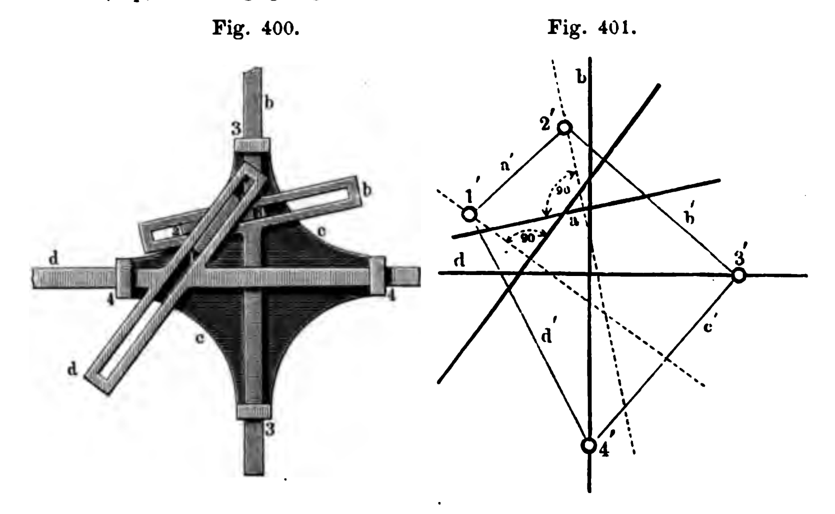
Fig. 398. Fig. 399.



welcher alle drei Prismenpaare sich deutlich als geschlossene Paare zeigen. Verbindet man statt drei nur zwei Prismenpaare zu einer geschlossenen Kette, so erhält man entweder nur ein einziges Prismenpaar, oder aber eine übermässig geschlossene Verbindung. Aus vier Prismen dagegen lässt sich sehr gut eine geschlossene einfache Kette bilden. Ein solche führt Fig. 400 vor. Wir werden sie zu schreiben haben: (P_4^L). Aus ihr kann man sich die Kette (P_3^L) entstanden denken und zwar dadurch, dass man die Winkel zwischen den Paaren 3 und 4 verschwindend klein werden lässt. Die Kette (P_4^L) selbst aber lässt sich wieder aus (C_4'') herleiten. Fig. 401 zeigt, auf welche Weise. Die unendlich langen Halbmesser der in Prismen übergegangenen Cylinder C^∞ liegen auf Normalen zu den

Paaren 1, 2, 3 und 4. Indem nun auf solchen Normalen die Punkte 1′, 2′, 3′, 4′ angenommen und entsprechend verbunden werden, wird ein Kurbelviereck *a′b′c′d′* erhalten, aus welchem man sich die Kette $(P_4^{\perp})$ hervorgegangen denken kann. Anwendungen der Kette

Fig. 400. Fig. 401.



$(P_4^{\perp})$ sind mir nicht bekannt; doch ist ihr Vorkommen wahrscheinlich. Verbindungen von mehr als vier Prismenpaaren liefern zusammengesetzte Ketten, sind also hier nicht weiter zu verfolgen.

§. 154.

Die geschränkte und die schiefe Schraubenkette.

Wenn wir oben die Cylinderkette bis zur Siebenzahl der Glieder entwickelten, und in dieser Zahl eine Grenze für die einfache Verkettung fanden, so sind wir doch damit nicht bis zum allgemeinsten Falle vorgedrungen, da das Cylinderpaar nicht die oberste Form der sogen. niederen oder Umschlusspaare ist. Diese Eigenschaft kommt vielmehr, wie wir wissen, dem Schraubenpaar (*S*) zu. Wir werden daher erst die allgemeinste Form der Ketten aus niederen Paaren erhalten, wenn wir in der am weitesten gehenden Cylinderkette statt (*C*) überall (*S*) setzen. Die höchste Kette aus Umschlusspaaren wird demnach die Kette $(S_7^{\dagger})$ sein. Die syn-

thetische Durcharbeitung dieser Kette, welcher die in den §§. 151 bis 153 behandelten sämmtlich untergeordnet sind, könnte als eine Aufgabe bezeichnet werden, welche der synthetischen Kinematik noch bevorsteht. Wir werden unten auf diese Frage noch einmal prinzipiell zurückkommen. Hier würde die bestimmte Bezeichnung der genannten Kette bereits genügen, wenn nicht einige in der Maschinenpraxis angewandte Mechanismen uns zum Herausheben einzelner Beispiele nöthigten.

Kehren wir noch einmal zu der Kette (C_{7}^{+}) zurück, die wir, wie durch Fig. 397 erläutert wurde, aus der Kette (C_{6}^{+}) dadurch bildeten, dass wir an deren Glied *a* einen zur Achse 1 rechtwinkligen Cylinder 2 ansetzten, der mit einem Hohlcylinder des folgenden Gliedes gepaart wurde. Diesen Cylinder 2 können wir statt rechtwinklig auch schiefwinklig oder auch geschränkt ansetzen, siehe Fig. 402, wobei ein recht verwickeltes Bewegungsspiel entsteht. Auf dieses wollen wir uns einstweilen aber nicht einlassen, wollen aber einmal annehmen, dass die Cylinder 1 und 2 konaxial gemacht würden. Dann erhalten wir die in Fig. 403 dargestellte siebengliedrige Cylinderkette. Diese ist nicht mehr zwangläufig geschlossen, wie die von Fig. 397; denn das Glied *a* lässt sich um die zusammenfallenden Achsen 1 und 2 drehen, ohne dass die übrigen Glieder ihre gegenseitige Stellung ändern; ja die Kette ist im übrigen wieder in den übermässig geschlossenen Zustand von Fig. 396 und 395 zurückgegangen, so dass die sechs Glieder *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *g* zusammen wie ein einziges Glied oder gar ein Element gegen *a* wirken. Dies ändert sich aber sofort,

Fig. 402.

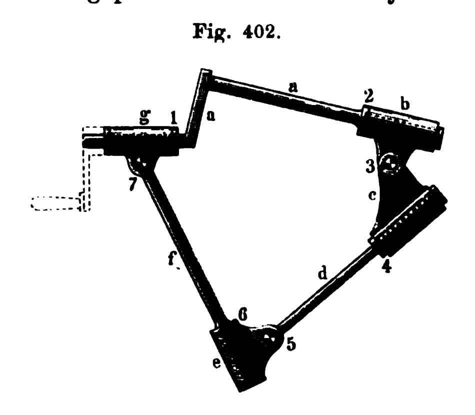
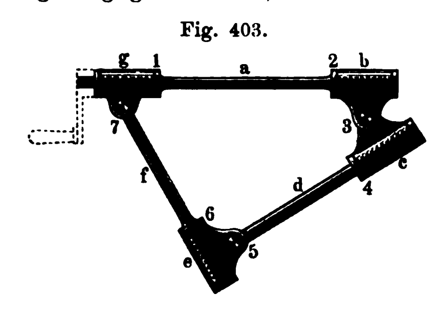
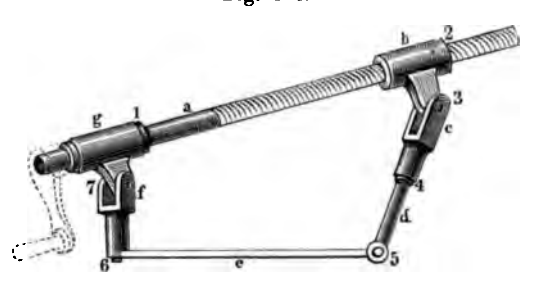


Fig. 403.



wenn wir nur eines der beiden Cylinderpaare 1 und 2 — es dürften auch beide sein — in die oberste Form des Umschlusspaares, das Schraubenpaar, überführen. Thun wir dies, so bewirkt die Drehung des Gliedes *a* eine Aenderung der Entfernung der Punkte 3 und 7, und überhaupt eine Relativbewegung aller Glieder. Fig. 404 stellt

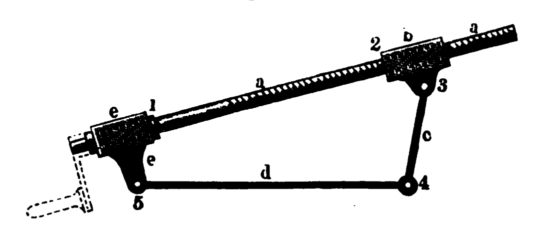
Fig. 404.



die so umgewandelte Kette dar. Man wolle sich einen Grundriss hinzudenken, um sich die geschränkte Lage der verschiedenen Achsen recht deutlich zu machen. Wir können diese Kette eine geschränkte Schraubenkette nennen. Eine allgemeinere als die vorliegende Form würden wir erhalten haben, wenn wir das Cylinderpaar 2 in Fig. 402 in (S) übergeführt hätten. Die Formel zu Fig. 404 lautet: $(C'S^{+}C_{2}^{\perp}C^{+}C^{\perp}C^{+})$.

Legt man die Kette so an, dass die Achsen 6 und 4 stets in eine Ebene fallen, so kommen die Paare 4 und 6 ausser Wirksamkeit und können daher wegfallen. Die Kette geht in die in Fig. 405

Fig. 405.

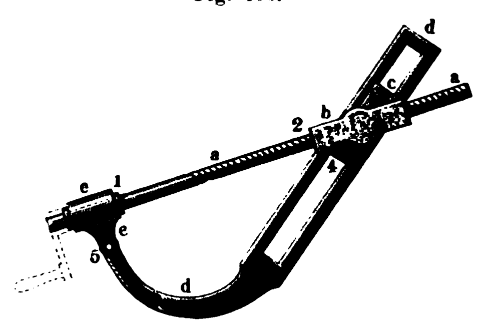


dargestellte Form über. Hier sind statt sieben nur noch fünf Glieder, indem *f* und *e* der obigen Kette in ein Glied übergegangen sind, und ebenso *d* und *c* sich vereinigt haben. Die Formel lautet: $(C'S^{+}C_{2}''C^{+})$. Es gibt mancherlei Anwendungen dieser Kette in der Praxis, z. B. bei Stellung auf *d* diejenige an gewissen sogenann-

ten Schraubensteuerungen für Lokomotiven, bei Stellung auf *e* diejenige bei Steuerrudergetrieben. Kniehebelpressen u. s. w.

Macht man das Glied *c* in der soeben besprochenen Kette unendlich lang, so erhält man die in Fig. 406 dargestellte Kette,

Fig. 406.

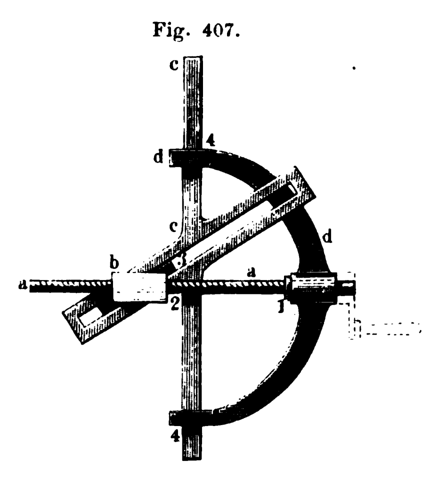


welche ebenfalls mancherlei Verwendungen findet. Formel:

$$(C''S^{\perp}C^{\perp}P^{+}C^{+}).$$

Wird auch noch das Glied *e* unendlich gross gemacht, d. h. die Achse 5 in unendliche Ferne von 1 abgerückt, so geht die Kette in die Form Fig. 407 über. Der veränderliche Winkel, welchen die Glieder *b* und *c* in Fig. 406 einschliessen, wird nun konstant, die dortige Paarung 3 also überflüssig, und wir erhalten die viergliedrige Kette, $(C''S^{\llcorner}P_2^{\llcorner})$, die man eine schiefe Schraubenkette nennen kann. Diese Kette hat mit Stellung auf *d* u. a. durch Nasmyth eine sehr hübsche Anwendung in einer Theilmaschine gefunden *). Fig. 408 deutet dieselbe an. Der Steg *d* ist hier das Bett der Theilmaschine, *c* der Schlitten derselben.

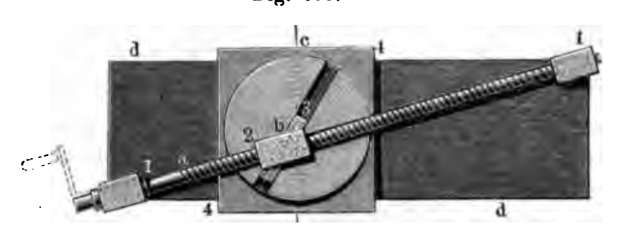
Fig. 407.



*) Siehe Civil-Ingenieur, 1863, S. 215, 1864, S. 21.

Indem der Winkel, welchen die Paare 3 und 4 einschliessen, veränderbar gemacht ist, kann die jeder Schraubenumdrehung entsprechende Fortschreitung des Schlittens innerhalb weiter Grenzen fein abgeändert werden.

Fig. 408.



Wie wir sehen, bietet die allgemeine Kette (S_7^+) sich zu mancherlei praktisch werthvollen Einzelgestaltungen dar, abgesehen davon, dass ihre Anwendungen in zusammengesetzten Ketten sehr mannigfach benuzt werden können und angewandt werden.

§. 155.

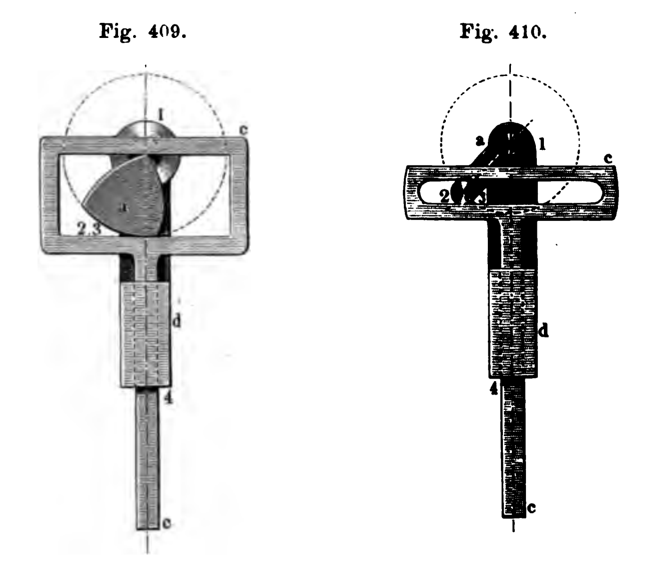
Ersetzung der Drehkörperpaare in Ketten durch höhere Paare.

Man kann, wie wir vorhin gesehen haben, die Ketten (C_7), (C_6), (C_5) und (C_4) nebst ihren besonderen Fällen aus der Kette (S_7) als oberster Form der aus Umschlusspaaren gebildeten Ketten herleiten. Nothwendig ist dies aber nicht. Denn wir können den Drehkörper C oder R auch anderen höheren Formen unterordnen, nämlich den höheren Cylindern und Kegeln $\tilde{C}$ und $\tilde{K}$, welche, wie wir aus Kapitel III (§. 21 ff.) wissen, zu Elementenpaaren höherer Art zusammentreten. Der Cylinder C kann als besonderer Fall des höhern Cylinders $\tilde{C}$ angesehen werden. Deshalb aber können wir auch in den Ketten, in welchen das Paar (C) vorkommt, für dieses das Paar $(\tilde{C})$ einschieben, wobei sich freilich die Bewegungsgesetze der aus der Kette herstellbaren Mechanismen wesentlich umgestalten. Somit sehen wir hier eine grosse formenreiche Klasse von Ketten entstehen, welche einen unerschöpflichen Reichthum von Bewegungsarten zu verwirklichen gestatten.

Die Ersetzung von (C) durch $(\check{C})$ in der allgemeinen Kette (C_7) kann indessen nicht ausnahmslos überall geschehen. Namentlich ist sie z. B. nicht durchführbar in der Kette $(C_4^{\angle})$, überhaupt an den Stellen, wo geneigt zu einander stehende Cylinderpaare angewandt sind, indem bei diesen die Eigenschaft der Partner jedes Paares, zusammenfallende Achsen zu besitzen, mit in Betracht kommt. An diesen Stellen aber fallen die Unzuträglichkeiten wieder weg, sobald nur statt der höheren Cylinder höhere Kegel $(\check{K})$ an die Stelle von (C) gesetzt werden. Denn alsdann laufen die Momentanachsen der Paare immer in denselben Punkt zusammen.

Man muss nicht denken, dass die Einführung von $(\check{C})$ oder $(\check{K})$ an die Stelle von (C) auf eine blosse Spekulation hinauslaufe. Die Praxis hat vielmehr wirklich Ausführungen, wenigstens von Ketten aus der Klasse (C_4''), in welche $(\check{C})$ eingeführt ist, aufzuweisen.

Fig. 409. Fig. 410.



Als häufig zu findendes Beispiel führe ich den bereits durch Hornblower eingeführten Mechanismus des Bogendreiecks Fig. 409 an und stelle sofort sein Gegenstück aus der Reihe der Schubkurbelmechanismen daneben, Fig. 410. Letzteres ist eine verminderte „rotirende Schleifenkurbel" (vergl. §. 72 und §. 76); ihre Formel

lautet $(C_2''P_{\frac{\perp}{2}})^d - b$. Im Bogendreieckgetriebe ist an die Stelle des Zapfens 2 das Bogendreieck $\breve{C}$ getreten, welches wir aus §. 26 kennen. Weggemindert ist sein quadratisch profilirtes Partner-Element, beziehungsweise das ganze betreffende Kettenglied *b*. Die Formel lautet also $(C''\breve{C}P_{\frac{\perp}{2}})^d - b$. Bringen wir beide Ketten wie-

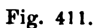
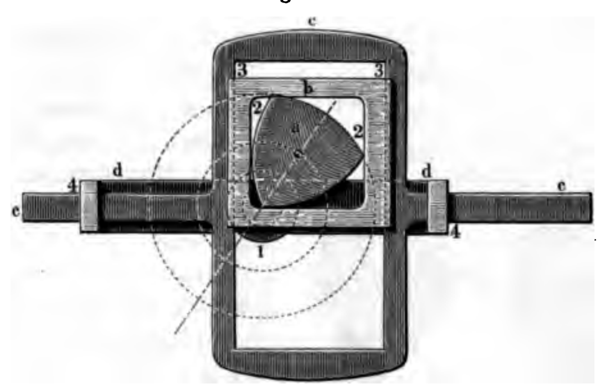
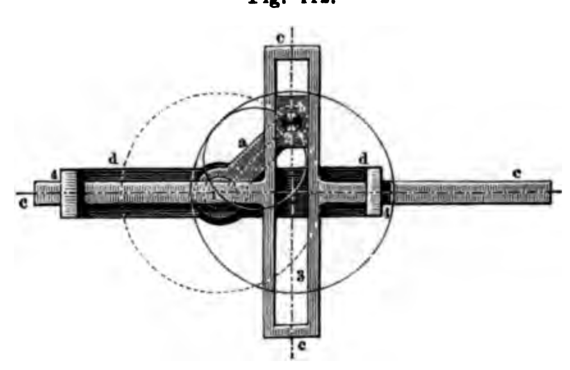


Fig. 411.



der durch Vermehrung auf ihren vollen Stand, so erhalten wir die in den Figuren 411 und 412 dargestellten Getriebe. Die Pol-

Fig. 412.



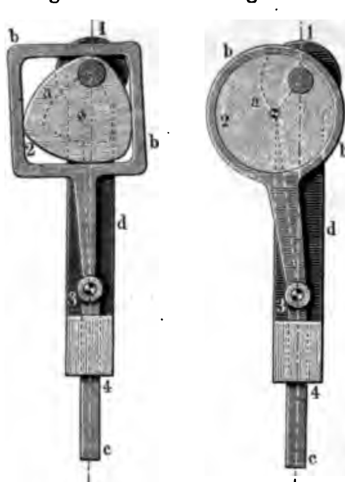
bahnen zwischen *a* und *c* fallen ziemlich verwickelt aus; hier ist jedoch nicht der Ort, auf dieselben einzugehen *). Der Maschinen-

---

*) Im kinematischen Kabinet der königlichen Gewerbe-Akademie habe ich dieselben an verschiedenen Modellen aus dieser Mechanismenklasse anschaulich gemacht.

praxis ist die (theoretisch) stattgehabte Wegminderung des Gliedes b in dem obigen Bogendreieckgetriebe nicht gänzlich entgangen. Wenigstens bin ich im Stande, ein einziges, obwohl auch nur dieses einzige Beispiel aufzuweisen, wo das Paar 2 wirklich vollständig ausgeführt ist. Fig. 413 stellt den betreffenden Mechanismus in unserer schematischen Weise und unter Benutzung unserer Zeichen dar. Die Formel lautet: $(C''\tilde{C}''C''P^{\perp})^{\frac{d}{s}}$. Er dient zum Betrieb eines Schiebers bei einer etwa 100pferdigen Woolfschen Balancier-Dampfmaschine *). Ich stelle in Fig. 414 den uns bekannten Mechanismus $(C_3''P^{\perp})^{\frac{d}{s}}$ daneben, um den bequemen Vergleich zu ermöglichen. In beiden Mechanismen ist im Paare 2 Erweiterung (§. 71) angewandt.

Fig. 413. Fig. 414.



Nur nebenher will ich nämlich anführen, dass die ganze grosse Gestaltungsreihe, welche die Zapfenerweiterungen bei der Kette (C_4'') u. s. w. liefern (vergl. §. 71), unmittelbar auf die vorliegende höhere Kette Anwendung findet. Die bisherige Maschinenpraxis hat dies kaum bemerkt und damit eine grosse Reihe konstruktiver Vortheile unbenutzt gelassen. In der That können die Bogenscheibengetriebe ebenso bequem unter- und angebracht werden, wie das gebräuchliche Exzentrikgetriebe der Dampfmaschine, wie ja auch das vorliegende Beispiel zeigt.

Ketten aus der Klasse (C_7), welche mehr als ein höheres Cylinderpaar enthielten, sind meines Wissens bis jetzt nirgend angewandt worden. Manche der zahlreichen Fälle, für welche sich uns die Perspektive aufgethan hat, können noch recht nützliche Verwendungen finden. Hier genügt vor der Hand die Aufzeigung des allgemeinen Falles.

---

*) Von Ad. Hirn auf dem Logelbacher Werke.

§. 156.

Die einfachen Räderketten.

Unter den einfachen Ketten, welche aus Rädern nebst Achsen und Zubehör gebildet werden können (vergl. §. 43), treten uns zuerst die der Reibräder entgegen. Die runden Räder nebst dem das Paar schliessenden Stege liefern die Kette $(C_2^+ H,)$ mit den ihr untergeordneten Formen $(C_2^\angle K,)$ $(C_2'' R,)$. Die Hyperboloidräder sind selten, aber nicht ohne Anwendung. Ja auch die noch höheren Formen dürfen nicht ausser Acht gelassen werden. Die Dick'sche Presse z. B. hat unrunde, und zwar spiralige Reibungsräder. Freilich kommen solche selten anders als in zusammengesetzten Ketten vor. Hier sei aber doch auf dieselben hingewiesen, namentlich auch im Hinblick auf die Walzwerktechnik, welche in den Walzen selbst Reibräder zur Anwendung bringt.

Die einfache Zahnräderkette $(C_2 \tilde{H}_z)$ ist mit der ganzen Reihe der ihr bei- und untergeordneten Formen dadurch an sich als erledigt anzusehen, dass wir die verschiedenen Formen, in welche $\tilde{H}_z$ übergeht, bereits bei den Paaren (§. 144) durchgenommen haben. Zu erwähnen ist hier aber noch die Einführung des Druckkraftorganes. Die in Kap. XI behandelten Kapselräderwerke gehören zu den zusammengesetzten Ketten; einfache Ketten dagegen, bei welchen an die Stelle eines der beiden Räder eine Flüssigkeit, oder überhaupt ein Druckkraftorgan, und an die Stelle des einen Cylinderpaares die Paarung der Kapsel mit dem Druckkraftorgan tritt, haben wir im gewöhnlichen Wasserrad, im Wurfrad, im Schaufelrad des Dampfbootes vor uns (vergl. §. 61, 62); zugleich gehören auch einzelne Turbinen und Zentrifugalpumpen hierher.

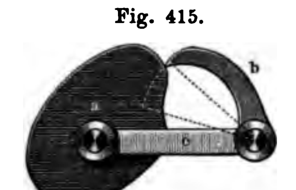
§. 157.

Die Kurvenschubketten.

Die Kurvenschubkette haben wir in §. 120 in Kürze besprochen und die Zweckmässigkeit ihrer Ausscheidung erkannt. Fig. 415 (a. f. S.) stellt eine solche Kette dar. Dieselbe würde zu schreiben sein: $(C_2'' C_{z,})$, wobei das Komma hinter C_z andeutet, dass es sich

nicht um ein wirkliches Zahnräderpaar handelt. Die besonderen Formen, in welche diese Kette übergehen kann, sind sehr zahlreich.

Fig. 415.



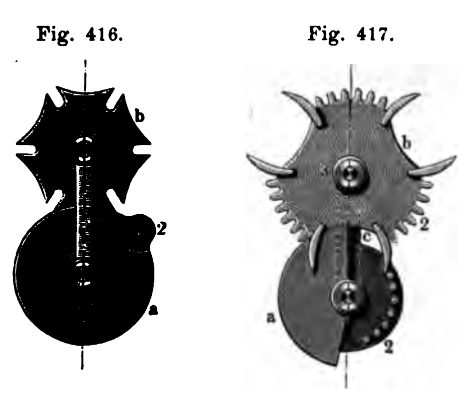
Doch ist die vorliegende Form der Kurvenschubkette bereits eine weit unter der höchsten Form stehende. Als letztere ist, soweit es die Form des Kurvenkörpers und des Zahnes betrifft, die Kette $(C_2^+ \tilde{H}_{\bar{z}})$ zu bezeichnen, gebildet aus zwei Paaren von der Art $(R) = (C)$, Klasse I, und der obersten Form der Klasse IV (§. 146). Zu der auch dieser Kette nach Allgemeinheit überlegenen obersten Form gelangt man, wenn man, wie in §. 155 gezeigt wurde, (C) durch $(\tilde{C},)$ oder $(\tilde{K},)$ ersetzt, ein Verfahren, welches auch bei den einfachen Zahnräderketten zu den obersten Problemen führt.

Neben diesen allgemeinsten Formen der Kurvenschubkette stehen die wichtigen besonderen Fälle derselben, als welche wir die Gesperre erkannt haben. Dieselben werden erhalten, wenn wir in die vorliegende Kette die Paare der Klassen VI und VII (§. 146) einführen. Wir erhalten die Ketten

$$(C_2 \tilde{H}_z;) \text{ und } (C_2 \tilde{H}_z:)$$

mit ihren äusserst zahlreichen Vereinfachungen, von denen wir typische Formen in Kap. XI kennen gelernt haben. Wir könnten die hierhergehörigen Kettenformen dadurch als erledigt betrachten. Doch verdient im Hinblick auf die Anwendungen noch eine Gesperrform ein kurzes Verweilen, von der in Figur 416 und 417 Beispiele dargestellt sind. Beide Gesperre können zugleich als Schaltwerke benutzt werden. Dasjenige in Fig. 416 wurde von Redtenbacher das Einzahnrad genannt; ziemlich verbreitet ist der von der Form des Rades *b* hergenommene Name Maltheserkreuz, auch der andere: Genfer Sperrung, aus der Anwendung des Gesperres in den

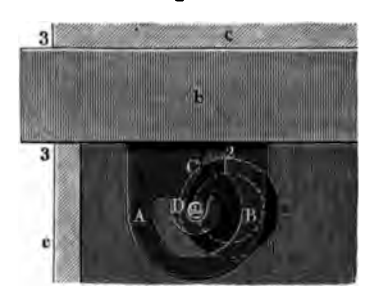
Fig. 416. Fig. 417.



Spieldosen entstanden. Die Einzähnigkeit des Rades a ist nicht Grundbedingung, wie Fig. 417 erkennen lässt; in der Mehrzahl der Fälle wird man indessen zu einer sternförmigen Anordnung der Segmente des Rades b geführt; man hat deshalb für das Getriebe den Namen Sternräder vorgeschlagen *). Offenbar haben wir hier eine besondere Form der Kette $(C_2 \breve{C}_{z,})$ oder wenn man will $(C_2 \breve{H}_{z,})$ vor uns, und es ist wünschenswerth, durch eine besondere Formel den Verwechslungen mit den Räderketten auszuweichen. Die hervorragende Eigenschaft der Verzahnung ist aber hier ihre Segmentförmigkeit. Wir können deshalb hier das Zeichen A benutzen, und wollen die Ketten der vorliegenden Art unter der Formel $(C_2 A_z{:})$ oder allgemeiner $(C_2 \breve{A}_z{:})$ zusammenfassen.

Geht in dem Gesperre $(C_2'' A_z{:})$ der Halbmesser des Rades b in unendliche Grösse über, so wird b eine Stange, welche die bogenförmigen Einschnitte und Zahnlücken an sich trägt. Die Formel lautet dann: $(C^{\perp} P^{\perp} A_z'',{:})$. Ein interessantes Beispiel liefert das Riegelgetriebe im Bramahschloss, Fig. 418. Das Stück $ABCD$ gehört zu dem Riegel b; die Kurve 2 an demselben ist die Zahnlücke zu dem Zahn 2 an a, AB und CD sind benachbarte bogenförmige Ausschnitte des Stückes b, entsprechen also den kreisbogenförmigen Ausschnitten, welche wir in Fig. 417 an dem Rade b vor uns haben. Es fehlt das in diese Bogen passende Cylindersegment an a; man begnügt sich mit der Vertretung dieser Bogen durch den Zapfen 2, welche auch ausreichend scheint. An anderen Schlössern kommt Aehnliches, wenn auch in undeutlicherer Form, vor. Das Stück a ist im übrigen im Bramahschlosse durch eine abgesonderte ruhende Sperrung, die dem Fachmann durch ihre Subtilität bekannt ist, gesperrt.

Fig. 418.



Auch in die Kurvenschubkette und ihre besonderen Formen, die Gesperrketten, sind Druckkraftorgane eingeführt worden, indessen handelt es sich dabei stets um zusammengesetzte Ketten.

---

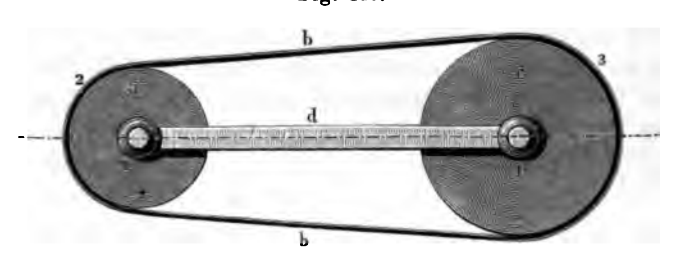
*) Siehe Polyt. Zentralblatt 1864, Aster, Sternräder.

§. 158.

Die Rollenketten.

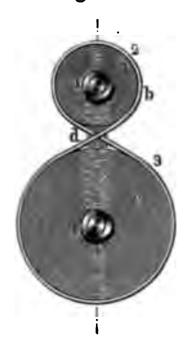
Das einseitige Kraftvermögen der Zugkraftorgane, oder ihre Eintriebigkeit (Monokinesie) erschwert die Herstellung einfacher Ketten, welche aus ihnen und den starren Elementen zu bilden wären, sehr (vergl. §. 41 ff.). Doch kennen wir im Riemen-, Schnur- oder Seiltrieb, Fig. 419, und ebenso im Kettentrieb, wo T in der

Fig. 419.



Form T_2 eintritt, eine solche einfache Kette. Dieselbe ist, wenn wir die nähere Beschaffenheit des Zugkraftorgans ausser Betracht lassen, zu schreiben: $(C_2 R, t_2)$, und kann auf die höhere Form $(C_2 \tilde{H}, t_2)$ oder gar $(\tilde{C}_2 \tilde{H}, t_2)$ gesteigert werden. Anwendungen solcher höherer Formen sind selten. Dagegen verdient eine bestimmte Form, in welche $(C_2 R, t_2)$ übergehen kann, eben wegen dieses Ueberganges einer besonderen Erwähnung. Denkt man sich in dem Riementrieb mit gekreuztem Riemen, Fig. 420, die Scheiben a und c bis zur Berührung genähert, und dann die Scheibe c unendlich gross gemacht, so geht das Paar 4 in ein Prismenpaar über, und das Organ T ist an dem Prisma, in welches c übergegangen ist, beiderseits zu befestigen, wie Fig. 421 andeutet. Bemerkenswerth ist, dass die Kette, wegen der Befestigung des Organes T, nunmehr nur noch drei Glieder hat.

Fig. 420.

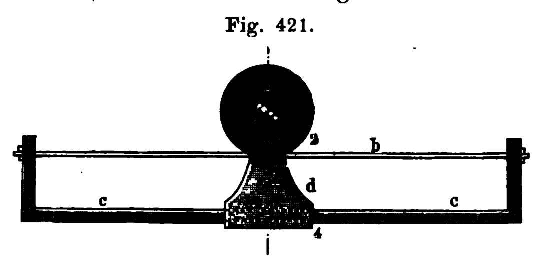


Ihre ausführliche Formel lautet:

$$C^{+} \ldots | \ldots R.T^{\pm} \ldots\ldots P_{=}^{\pm} P^{-} \ldots \perp \ldots C_{=}^{-}$$

In konzentrirter Form heisst sie $(C'R,tP^{\perp})$. Die Kette wird hie und da gebraucht, z. B. in den Stellungen auf *c* und auf *d*.

Fig. 421.



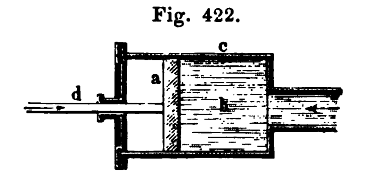
Die Flaschenzüge sind zwanglos geschlossene, nur unter Anwendung des Kraftschlusses zwangläufig wirkende Ketten, fallen deshalb hier ausser Betracht. Vollzieht man bei ihnen den Paarschluss vollständig, so gehen sie, auch bei der in §. 43 angedeuteten Vereinfachung der Rollen-Einrichtung, in zusammengesetzte Ketten über, welche zwar recht interessant sind, aber nicht hierher gehören (vergl. S. 575). Dasselbe gilt von mancherlei anderen wichtigen Anwendungen der Zugkraftorgane.

§. 159.

Ketten mit Druckkraftorganen.

In den vorstehenden Untersuchungen der einfachen Ketten haben wir wiederholt die Ersetzung eines starren Organes durch ein Druckkraftorgan, und damit also auch solche einfache Ketten, in denen Druckkraftorgane eine Rolle spielen, bereits besprochen. Immer ist bei denselben die Beachtung der Eintriebigkeit der Druckkraftorgane von der grössten Wichtigkeit; der Kraftschluss kommt in der Mehrzahl der Fälle zur Geltung. Soll er vermieden werden, so gelangt man nothwendig zur zusammengesetzten Kette. Reine einfache zwangläufig geschlossene Ketten mit Druckkraftorganen scheinen nicht möglich zu sein. So ist die einfache Kette, welche Fig. 422 darstellt, und welche zu schreiben wäre:

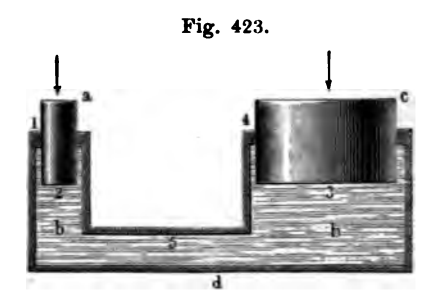
Fig. 422.



$$\overbrace{P^{+}\ldots\ldots|\ldots\ldots V^{+}}^{a},\overbrace{Q_{\lambda}\ldots\ldots Q_{\lambda}}^{b},\overbrace{V^{-}\ldots\ldots|\ldots\ldots P^{\div}_{=}}^{c}$$

konzentrirt geschrieben also hiesse: $(P V_{,q}^{+} V_{,q}^{-})$, im Grunde genommen kraftschlüssig. Denn bei Abwesenheit des Kraftschlusses würde das Wasser *b* aus dem Ausgangsrohr ablaufen. Immerhin bleibt die Einrichtung verwerthbar und dient ja auch als Handspritze.

Fig. 423.



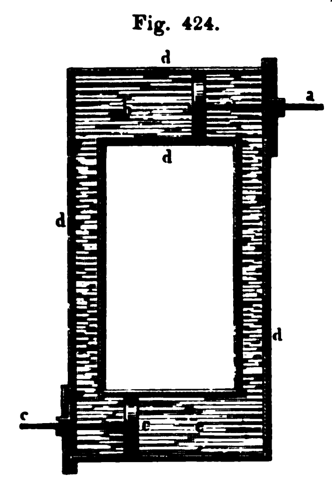
Schliesst man etwa das Ausgangsrohr durch einen zweiten Kolben, so kommt man zu der uns bekannten Einrichtung in Fig. 423. Die Kette hat nun vier Glieder statt drei, ist aber bereits eine zusammengesetzte Kette, da sowohl das Wasser *b* mit drei Elementen, 2, 3 und 5, als auch der Körper *d* mit drei Elementen, 1, 4 und 5, gepaart ist. Die Formel lautet:

$$\begin{array}{ccccc} d & & a & & b \\ V^{-} \ldots & \left\{ \begin{array}{l} \cdot(P) \ldots (V_{,q}^{+}) \cdot\cdot \\ \\ \cdot(P) \ldots (V_{,q}^{+}) \cdot\cdot \end{array} \right\} & & \ldots Q\lambda. \\ & & c & & \end{array}$$

Dennoch ist selbst diese Kette noch nicht zwangläufig geschlossen, sondern immer noch durch den Kraftschluss bedingt.

Ein Mittel, die vorliegende und ähnliche, mit den bildsamen Elementen erzielte Ketten paarschlüssig zu machen, besteht in einem Verfahren, welches man die Verdoppelung der Kette nennen könnte. Wir haben dieses Verfahren beim Riementrieb angewandt gefunden, vergl. §. 44, und haben auch schon früher die Verdoppelung der vorliegenden Kette kennen gelernt. Fig. 424 stellt die Kette dar. Ihre Bewegungen sind vollständig paarschlüssig; freilich aber ist dieselbe, obwohl sie nur fünf Glieder hat, in noch höherem Grade zusammengesetzt, als die vorhergehende. Bedenken wir, dass man die Kette in Fig. 422 auch mit anderen Mitteln,

Fig. 424.



z. B. durch Zufügung eines geeigneten Hebelwerkes, welches die Bewegungen der Kolben von einander abhängig machte, zum Paarschluss bringen könnte, so sehen wir, dass die weitere Verfolgung uns unfehlbar in das Gebiet der zusammengesetzten Ketten führt. Bemerkt sei noch, dass das Prinzip der Verdoppelung der Kette auch beim Flaschenzug anwendbar sein würde, um denselben in eine zwangläufig geschlossene Kette überzuführen *).

§. 160.

Zusammengesetzte Ketten.

Von den verschiedensten Punkten sind wir bei der synthetischen Aufsuchung der einfachen Ketten zu der Grenze gelangt, wo das Gebiet der zusammengesetzten Ketten beginnt. Dabei hat sich herausgestellt, dass die synthetische Behandlung der letzteren nicht unterlassen werden darf, will man nicht wichtige praktische Fälle übergangen wissen. Da aber die Möglichkeit, kinematische Ketten mit einander zu verknüpfen, bis ins Unendliche geht, fragt es sich, welcher Kreis von Problemen in die Synthese hier hineinzuziehen sei.

In der That aber ist ein Unterschied zu machen, je nachdem die Zusammensetzung gebildet ist. Wird durch dieselbe etwas Neues geliefert, so wird sie anders zu betrachten sein, als wenn sie nur Bekanntes nebeneinanderstellt. Wir wollen zunächst an einigen Beispielen dies festzustellen suchen.

Um zuerst ein sehr einfaches anzuführen, so wird offenbar kinematisch nichts Neues geliefert, wenn in Triebwerken ein Riementrieb hinter dem andern, ein Räderwerk hinter dem andern angebracht wird. Die entstehenden Drehungen mögen sich der Relativgeschwindigkeit nach unterscheiden: das Gesetz derselben ist durch die Gesetze der einzelnen Getriebe bereits gegeben, und ein anderer Vortheil, als der der wiederholten Benutzung einer und derselben Mechanismenart, wird aus der Zusammensetzung nicht gezogen.

Fig. 425 (a. f. S.) stellt ferner das Schema des Hauptgetriebes einer Balancierdampfmaschine dar. Die hier angewandte Kette,

*) Von mir durch Modell im kin. Kabinet der K. Gew. Ak. anschaulich gemacht.

bestehend aus den sieben Gliedern a, b, c, d, b_1 a_1 d_1, ist offenbar zusammengesetzt. Sie besteht aus der rotirenden Bogenschubkurbel a, b, c, $d = (C_4'')^d$ und der auf c gestellten geschränkten Schubkurbelkette $(C_3''P^+)$, welche Fig. 426 in einer uns schon bekannten Form nochmals gesondert darstellt. Die Zusammensetzung hat stattgefunden unter Verbindung der beiden Aufstellungsglieder d und c_1 zum festen Gestell und derjenigen der Glieder c und b_1 zu dem ternären Gliede, welches den „Balancier“ bildet. Demzufolge sind die Oscillationswinkel der Schwinge c und der Koppel b_1 gleich, und dadurch der Schub des Gliedes d_1 in eine feste Abhängigkeit zu der Grösse der Kurbel a gebracht. Jeden Augenblick aber können wir uns die beiden Getriebe getrennt denken, ohne dass eines derselben seinen Bestand verliert.

Fig. 425.

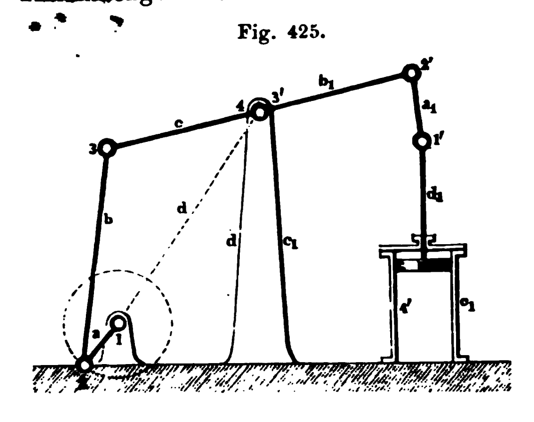


Fig. 426.

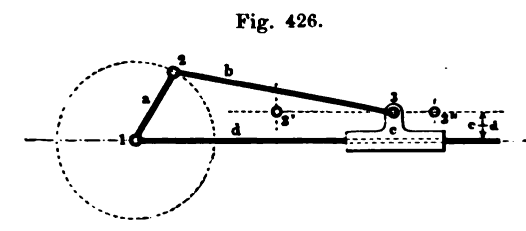
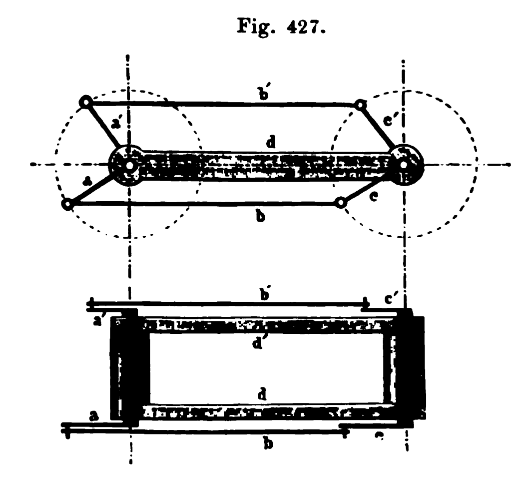


Fig. 427.

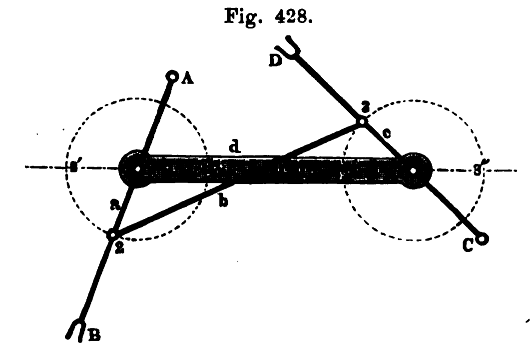


Ganz anders verhält es sich mit dem folgenden Mechanismus, der uns ebenfalls bereits bekannt ist. Hier haben wir das Parallelkurbelpaar vor uns, bestehend aus zwei Ketten von der Form $(C_2''\|C_2'')$, deren d-Glieder

gleichgemacht und fest mit einander verbunden sind, und bei denen ebenfalls die Glieder a und die Glieder c je zu ternären Gliedern zusammengetreten sind. Wir wissen, dass diese zusammengesetzte Kette $2(C_2'' \| C_2'')$ die Eigenschaft hat, dass beide Parallelkurbeln die Todtlagen, welche an sich genommen Wechselpunkte sind (vergl. §. 46 und 66), ohne Störung überschreitet. Diese Eigenschaft wird aber allein der Zusammensetzung verdankt; somit hat diese etwas Neues, den beiden verbundenen Ketten einzeln nicht Eigenthümliches verwirklicht.

Ein weiteres Beispiel bietet uns das Antiparallelkurbelpaar, Fig. 428, welches wir aus früheren Untersuchungen (§. 47 und 67)

Fig. 428.



ebenfalls bereits kennen. Es war früher nicht am Platze, darauf hinzuweisen, dass auch hier, trotzdem die Gliederzahl in der Kette (C_4'') nicht vermehrt ist, eine zusammengesetzte Kette vorliegt. Dieselbe besteht aus den bekannten vier Gliedern $a\,b\,c\,d$ und einer zweiten Kette aus den Gliedern $A\,1\,B$, $C\,4\,D$ und d. Wir können dieselbe ausführlich schreiben:

$$\overset{a}{C^+ \ldots \| \ldots (Z)} \ldots \| \ldots \overset{c}{(C)} \ldots \| \ldots \overset{d}{C_=^-}$$

Ihr Stegglied d ist mit dem Stege d der Kette (C_4'') identisch gemacht, die beiden Glieder $C..\|..Z$ mit den Gliedern a und c zusammengelegt; beide sind dadurch zu ternären Gliedern gemacht. Einzeln genommen würden aber die beiden Ketten nicht gangbar sein, nämlich (C_4'') in den Todtlagen, $(C_2''Z'')$ ausserhalb der Todtlagen ungeschlossen sein.

Diese Beispiele werden genügen, um die Verschiedenheit der zwei besprochenen Verbindungsweisen deutlich zu machen. Wir wollen die zuletzt besprochenen Zusammensetzungen **ächte**, die zuerst besprochenen **unächte Zusammensetzungen** nennen,

und bemerken nun, dass die ächten Zusammensetzungen unmittelbar in das Gebiet der kinematischen Synthese hineinfallen, während die unächten nicht nothwendig in Betracht gezogen werden müssen.

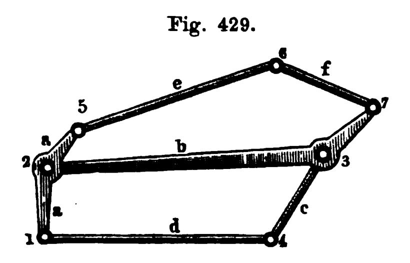
§. 161.

Beispiele von ächt zusammengesetzten Ketten.

Es liegt auf der Hand, dass die zusammengesetzten Ketten, wegen ihrer grösseren Gliederzahl, noch weit reicher an Anwendungen zu Mechanismen sein müssen, als die einfachen Ketten. Daher müsste die nur einigermaassen vollständige Betrachtung solcher Ketten zu Untersuchungen führen, welche für diese Stelle zu umfangreich sein würden. Auch ist es hier vorzugsweise unsere Aufgabe, Wege zu zeigen, nicht aber, vollständig durchgeführte Probleme zu geben. Ich glaube mich daher auf einige wenige Beispiele beschränken zu dürfen.

Aechte Zusammensetzungen von grosser Mannigfaltigkeit der Gestaltung können mit der Kette (C_4'') durch Zufügung weiter Cylinderglieder gebildet werden. Schon früher habe ich auf solche Ketten hingewiesen (vergl. u. a. §. 60). Durch Anschliessung von zwei neuen Gliedern, welche mit den alten an geeigneten Stellen gepaart werden, kann man ächte Zusammensetzungen erhalten, welche eine Fülle von Bewegungsaufgaben zu lösen gestatten. Fig. 429 zeigt eine solche ächt zusammengesetzte Kette aus sieben parallelen Cylinderpaaren. Die Glieder *e* und *f* sind den bekannten vier Gliedern *a*, *b*, *c*, *d* zugefügt, und zwar indem die Paare 5 und 7 an benachbarte Glieder — *a* und *b* — angefügt sind; eine andere Kombination würde entstehen, wenn sie an gegenüberliegende oder überbenachbarte Glieder angehängt würden. Dass die Zusammensetzung eine ächte ist, geht daraus hervor, dass die Verbindung von *e* und *f* allein keine geschlossene Kette liefert.

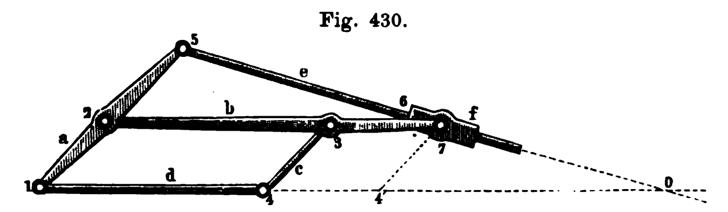
Fig. 429.



Beachtet man, dass die verschiedenen Gliedlängen bis zur Unendlichkeit veränderbar sind, so sieht man einen ganz ausserordentlichen Reichthum von besonderen Fällen aus dem vorliegenden all-

gemeinen hervorgehen. Werden z. B. die Glieder *e* und *f* unendlich lang gewählt, und ferner sowohl die Paare der Terne 1,2,5 als diejenigen der Terne 2, 3, 7 komplan gemacht, so entsteht die in Fig. 430 dargestellte Verbindung. Bilden wir in derselben noch die Grundkette (C_4'') als Parallelogramm aus, so erhalten wir sofort

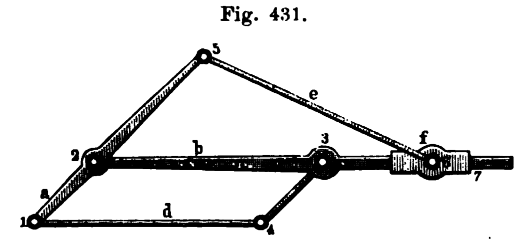
Fig. 430.



eine, bisher wohl nicht benutzte Kette von bemerkenswerthen Eigenschaften. Da nämlich die zu *a* parallel gezogene 7.4′ stets = 2.1, und ausserdem 1.4′ eine konstante Grösse ist, so schneidet die verlängerte 5.6 die 1.4... immer in demselben Pol *O*. Bei Feststellung von *d* entsteht demnach ein Mechanismus, welcher dazu dienen kann, den Stab *e* so zu führen, dass seine Achse stets durch einen ausser dem Mechanismus liegenden, etwa unzugänglichen Mittelpunkt geht.

Macht man *e* von endlicher Länge, dafür aber *f* und 3.7 unendlich lang, so entsteht die in Fig. 431 dargestellte Kette, welche von der vorhergehenden wesentlich verschieden ist.

Fig. 431.

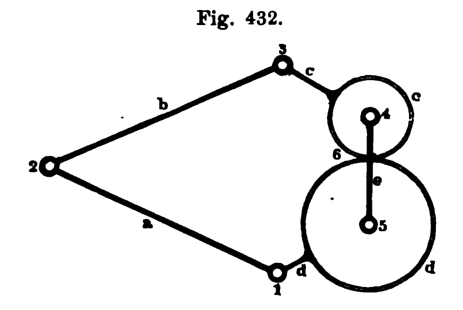


Viele nützliche Anwendungen findet die Kette Fig. 429 in den sogenannten Gelenkgeradführungen, wo sie dazu dient, Stäbe in geraden Bahnen oder Annäherungen von solchen zu leiten.

Ein anderes Beispiel, welches hierher passt, ist dasjenige des rückkehrenden Räderwerkes ($C_{z2}C_3''$), welches wir in §. 105 bereits behandelt haben. Ich begnüge mich hier mit dem blossen Hinweis, da die damalige Betrachtung auf die Vielheit der Mechanismen, welche aus ($C_{z2}C_3''$) sich bilden lassen, bereits hingedeutet hat.

Als drittes und zugleich als allerletztes grosses Beispiel sei noch die in Fig. 432 in allgemeiner Form dargestellte Kette vorgeführt, welche sehr merkwürdige Getriebe liefert. Sie ist eine

Fig. 432.



ächte Zusammensetzung aus der einfachen Stirnräderkette $(C_z C_2'')$ und zwei den Rädern angefügten Gliedern aus je zwei parallelen Cylinderpaaren. Die Kette besitzt demnach fünf Glieder und sechs Paare, nämlich die Cylinderpaare 1, 2, 3, 4, 5 und das Paar 6 von der Form (C_z). Konzentrirt können wir sie daher schreiben: $(C_5'' C_z)$, und ausführlich:

$$
\begin{array}{c}
\quad 6 \quad d \qquad\qquad 1 \qquad a \qquad 2 \qquad b \qquad 3 \qquad\qquad c \quad 6 \\
C_z \ldots \left\{ \begin{array}{l} \ldots \| \ldots (C) \ldots \| \ldots (C) \ldots \| \ldots (C) \ldots \| \ldots \\ \ldots\ldots\ldots | \ldots (C) \ldots \| \ldots (C) \ldots | \ldots\ldots\ldots \end{array} \right\} \ldots C_z, \\
5 \qquad e \qquad 4
\end{array}
$$

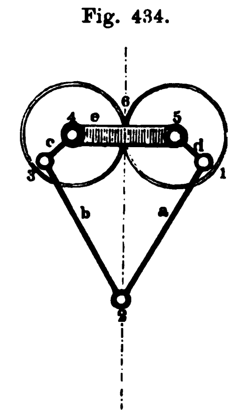
Um ja deutlich zu sein, habe ich der Formel ausser den Namen der Glieder auch noch die Zahlzeichen der Paare beigesetzt. Die allgemeine Symmetrie des Aufbaues der Kette wird aus der Formel noch besonders deutlich. Man hat nun zu bedenken, dass man die Grössen der einzelnen Glieder die weitesten Grenzen durchlaufen lassen kann, ohne dass sich die Kette im allgemeinen ändert, wenn man nur verhütet, dass der Schluss in einen übermässigen, oder in einen zwanglosen übergeht. Dabei erhält man je nach der Wahl des Aufstellungsgliedes und des die Bewegung einleitenden Theiles sehr verschiedenartige Mechanismen. Ohne streng systematisch verfahren zu wollen, da dazu hier nicht der Ort ist, betrachten wir in Kürze einige wichtige Fälle. Der Einfachheit halber ist in den beigefügten Zeichnungen die Verzahnung weggelassen, beziehungsweise nur durch die zugehörigen Theilkreise angedeutet worden.

1) Man mache die Länge 1.5 = Null, ohne deshalb die Paare 1 und 5, welche nur konaxial werden, aufzugeben. Führen wir dies aus, und stellen die Kette auf a, so erhalten wir das Wattische Planetenräderwerk oder Planetenrad-Kurbelgetriebe, Fig. 433, dessen Bewegungsgesetz wir bereits weiter oben be-

sprochen haben (§. 105). Im Anschluss an den Namen, den Watt dem besonderen Mechanismus $(C_6''C_z)^s$ gegeben hat, wollen wir die Kette $(C_6''C_z)$ die Planetenräderkette nennen*).

Fig. 433.

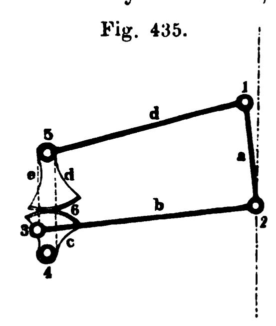
Fig. 434.



2) Macht man 1.5 nicht gleich Null, sondern = 3.4, ausserdem $a = b$ und auch die beiden Zahnräder gleichgross, so dass also auch die Glieder c und d völlig gleich ausfallen, so wird die Kette zur Linie 6.2, Fig. 434, streng symmetrisch, und es entsteht bei Stellung auf e eine Geradführung, welche man die Cartwright'sche nennt.

3) Wählt man die Verhältnisse der Längen 5.1, 1.2, 2.3 und 3.4 nicht symmetrisch, aber in einer anderen passenden Weise, und gibt den Zahnrädern ein angemessenes Halbmesserverhältniss, so entsteht bei Stellung auf e eine Geradführung für den Punkt 2, welche meines Wissens von Maudslay herrührt. Die Bahn des Punktes 2 ist zwar keine genaue gerade, nähert sich aber einer solchen sehr nahe an, wenn der Oscillationswinkel von d nicht zu gross gewählt wird.

Fig. 435.



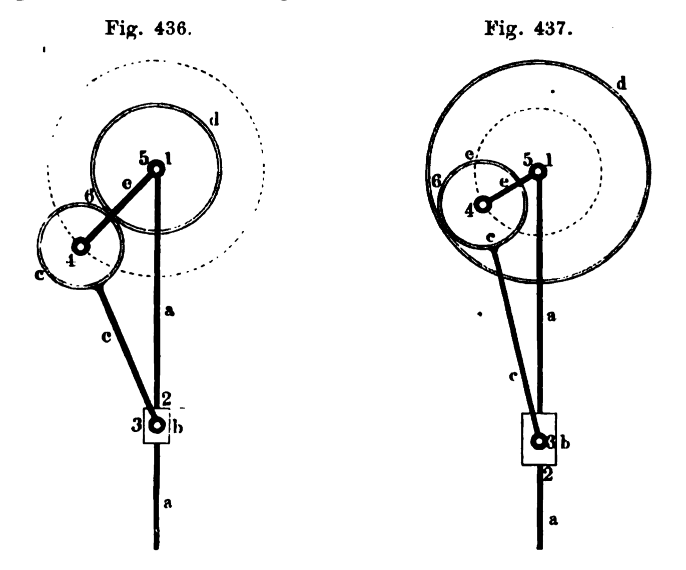
4) Das Unendlichmachen einzelner Glieder liefert wichtige besondere Fälle. Wir wollen zuvörderst b und a unendlich machen,

*) Die in §. 105 besprochene Anwendung des Planetenräderwerkes, welche Galloway machte, bleibt hier unerörtert, weil sie eine noch grössere Zusammensetzung der Kette erfordert.

zugleich aber vorerst dieselbe Vereinfachung herbeiführen, welche beim Wattischen Planetenräderwerk besteht, nämlich die Länge 1.5 = Null setzen. Wir erhalten dann beispielsweise die in Fig. 436 dargestellte Kette. Sie ist, wenn wir bei 1 anfangen, konzentrirt zu schreiben: $(C^{\perp}P^{\perp}C_3''C_z)$. Wird dieselbe auf *a* gestellt, so liefert sie ein Planetenradkurbelgetriebe mit geradlinigem Schub, welches in mancherlei Anwendungen vorkommt.

Eine besondere Form desselben wird erhalten, wenn *d* zum Hohlrade gemacht wird, siehe Fig. 437. Dieselbe hat, ohne dass man sie

Fig. 436. Fig. 437.



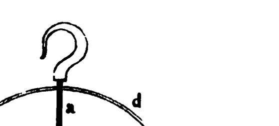
erkannt hat, neuerdings mehrere eigenthümliche Anwendungen gefunden. Unter anderem ist sie von Caird & Robertson in einem Mechanismus zum Steuerruderbetrieb benutzt worden *). Die Kette ist dabei auf *a* gestellt und mittelst des Gliedes *e* betrieben. Formel: $(C^{\perp}P^{\perp}C_3''C_z^{-})^{\frac{a}{e}}$. Das Verhältniss der Zahnräder ist der Einheit nahe gebracht, wodurch eine starke Uebersetzung ins Langsame erzielt wird. Die Steuerruderachse ist konaxial mit *d* verbunden.

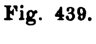
Unter Einleitung der Bewegung in das Rad ist das vorliegende Getriebe in gewissen Nähmaschinen zum Betrieb der Nadelstange benutzt worden.

*) Génie industriel, 1869, Bd. 37, S. 29. Caird & Robertson wenden denselben Mechanismus auch im Gangspill an.

Eine fernere Anwendung derselben Kette ist in dem Eades'schen Flaschenzug, den Fig. 438 schematisch darstellt, zu erblicken*). Stellung auf a, Betrieb durch e wie vorhin. Das Glied $b = C \ldots \perp \ldots P$ fehlt; es ist weggemindert und zwar nach dem in §. 76 durch Fig. 269 und 270 erläuterten Verfahren. Die Formel des Getriebes lautet also: $(C^{\perp}P^{\perp}C''_3 C^{-}_z)^{\frac{a}{e}} - b$. Abermals derselbe Mechanismus, und zudem mit derselben Verminderung bedacht, ist sowohl von Wilcox**), als von Taylor***) zu einem Dezimalzählwerk benutzt worden.

5) Die vorliegende Kette erhält eine Bewegung, welche von der in den vorstehenden Beispielen benutzten sich stark unterscheidet, wenn die Länge 3.4 kleiner als 4.5 gemacht wird, während wir sie bis dahin grösser angenommen haben. Fig. 439 stellt den





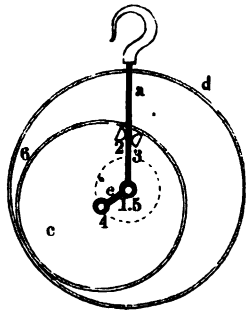


Fig. 438.

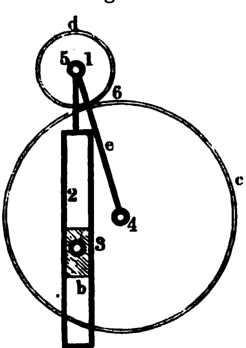


Fig. 439.

Fall dar. Während vorhin bei Stellung der Kette auf a die ganze Oscillation des Gliedes b gleich 2×4.5 oder $2\,e$ wurde, wird sie jetzt gleich 2×4.3. Dieser Mechanismus ist von mir als Hauptgetriebe für Niet-, Loch- oder Prägepressen angegeben und mit dem Namen Zahnexzentrik belegt worden †) (vergl. auch S. 299).

6) Lässt man die Unendlichsetzung der Glieder a und b bebestehen, macht aber 1.5 nicht = Null, sondern lässt diesen Werth

*) Engineer 1867, S. 135.

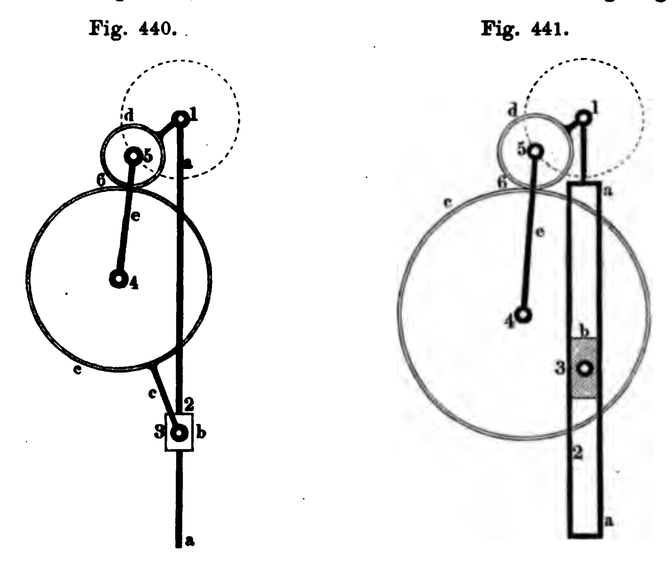
**) Engineering 1869, Januar, S. 38.

***) Engineering 1869, Juli, S. 1.

†) Siehe Civilingenieur 1858, S. 4: „Das Zahnexzentrik, ein neuer Bewegungsmechanismus." Die ganze Reihe der Zahnexzentrikmechanismen wurde von mir in dem angezogenen Artikel behandelt, ohne dass ich den oben erläuterten Zusammenhang mit dem Planetenräderwerk erkannt hatte.

angebbar, so entsteht die in Fig. 440 in allgemeiner Form dargestellte Kette. Wird in derselben $3.4 < e$ gemacht, so erhält man die Kette in Fig. 441, welche von mir in der soeben angezogenen

Fig. 440. Fig. 441.



Quelle als der **allgemeine Fall** des Zahnexzentriks bezeichnet worden war. Diese Kette kann bei Stellung auf *a* dazu dienen, Oscillationen mit zahlreichen Maximum- und Minimumlagen hervorzubringen. Ein interessanter Fall wird erhalten, wenn die Zahnräder und Exzentrizitäten gleich gross gemacht und so gestellt werden, dass 3.4 und 1.5 symmetrisch zu *a* stehen, Fig. 442. Ich nannte den entstehenden Mechanismus das **symmetrische Zahnexzentrik**. Die Polbahnen zwischen *c* und *a*, sowie die zwischen *d* und *b* werden Cardankreise.

7) Statt *b* und *a* unendlich zu machen, kann die Wahl hierzu auch auf *b* und *c* fallen. Man erhält die von der vorigen stark verschiedene Kette, welche in Fig. 443 dargestellt ist. Die Formel lautet: $(C''C^{\perp}P^{\perp}C_2''C_{,})$. Bei Stellung auf *c* und Antrieb durch *e* wird eine ziemlich verwickelte Oscillation von *b* hervorgebracht. Das Getriebe ist u. a. an der Nähmaschine von **Whitehill** zur Nadelbewegung benutzt; die beiden Räder sind daselbst gleichgross gewählt.

Macht man *c* zum Hohlrade, so entsteht die in Fig. 444 dargestellte Kette. Wird in ihr insbesondere noch das Rad *d* halb so

gross als c, und $1.5 = 5.4$ gemacht, so geht die Kette in die in Fig. 445 angegebene Form über. Hier bewegt sich der Punkt 1, als dem Umfang eines kleinen Cardankreises angehörig, auf einem

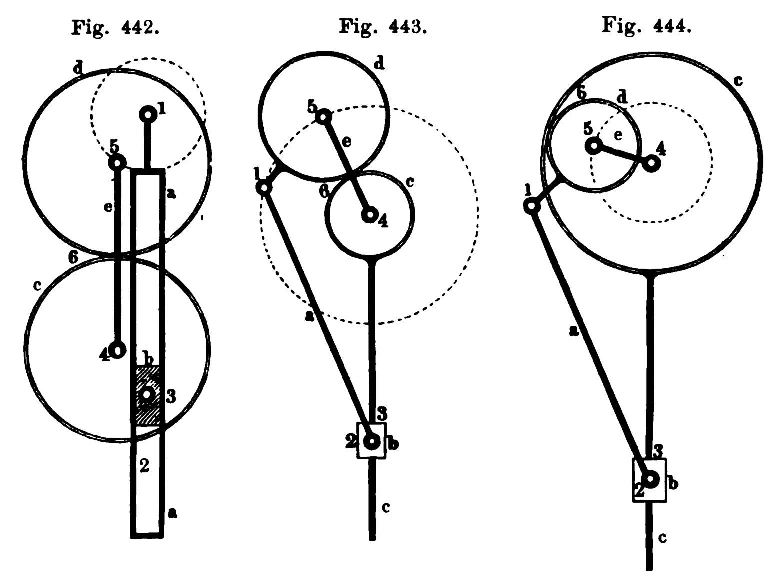
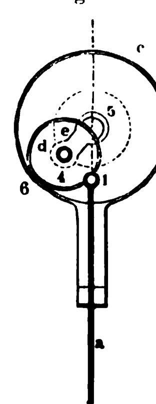


Fig. 442. Fig. 443. Fig. 444.

Durchmesser des Theilkreises von c. Bei Stellung auf c erhält man demzufolge eine Geradführung. Es ist ein alter Bekannter, nämlich die Hypocykelführung, auch Lahire'sche Geradführung, White'sche Geradführung genannt, an den Schnellpressen in bewährter Verwendung. Das Glied b verliert hier seine Achsendrehung um den Zapfen 2, und kann daher ganz wegfallen. Wird dieselbe Kette statt auf c auf a gestellt, so entsteht ebenfalls eine Geradführung, und zwar für das Glied c. Dieser Mechanismus ist meines Wissens neu*).

Fig. 445.



Es sei nur noch eben erwähnt, dass, wenn man die in $(C_6'' C_z)$ eingeführten Prismen geschränkt statt rechtwinklig schneidend gegen die Achsen stellt, abermals eigenthümliche Fälle entstehen, die hier aber unerörtert bleiben können.

*) Modell im kinematischen Kabinet der Königl. Gewerbe-Akademie.

§. 162.

Schlussbemerkungen.

Die Umschau auf dem synthetischen Gebiete, die wir nun beendet haben, hat mehrere Ergebnisse geliefert, welche bedeutend von dem abweichen, was bisher als allgemeine und auch wissenschaftliche Meinung über das Maschinenwesen umläuft. Die wichtigste Entdeckung, zu welcher wir gelangt sind, ist ohne Zweifel die, dass das Gebiet der kinematischen Verbindungen weit enger begrenzt ist, als es bisher den Anschein hatte. Ich sehe hierbei ab von der Ungenauigkeit der Vorstellungen, welche die bisherige Schule der Sache zu Grunde legte. Hierauf kommt es in diesem Augenblicke weniger an, da auch die bestimmte Auffassung der Elementenverbindungen, mit welcher wir an die Aufgabe herantraten, nicht wohl vermuthen liess, dass die Synthese einen so weitgehenden Erfolg haben könne, wie ich ihn glaube nachgewiesen zu haben.

Sehr bemerkenswerth ist sodann, namentlich im Hinblick auf die Maschinenpraxis und den höheren wie niederen Unterricht, dass die Haupterfolge des Maschinenwesens sich auf eine ziemlich kleine Zahl kinematischer Ketten konzentriren. Sie sind:

die Schraubenkette,
die Räderkette,
die Kurbelkette,
die Kurvenschubkette,
die Schaltungsketten,
die Rollenketten,

und endlich die durch Einschiebung von bildsamen Elementen an die Stelle der starren zu bildenden Ketten. Die übrigen treten mehr oder weniger an Bedeutung zurück.

Hier ist der Ort, auf eine in §. 92 gemachte Bemerkung zurückzukommen. Ich berührte dort die auffallende Thatsache, dass die „rotirenden“ Dampfmaschinen und Pumpen in so grosser Mehrzahl den Kurbelgetrieben angehören, indem sie als Kapselwerke aus solchen gebildet sind. Hier erklärt sich dies. Unter den kinematischen Ketten nämlich, die überhaupt der Verwendung am ersten fähig sind, ist die K u r b e l k e t t e diejenige, welche die für

die Kapselung und den dichten Verschluss günstigsten Elementenpaare, das Cylinder- und das Prismenpaar, enthält. Somit war die Erfindung unbewusstermaassen in erster Linie auf diese Kette hingewiesen.

Zugleich haben wir gesehen, dass es sich dringend empfiehlt, die Synthese auf dem ganzen Gebiet möglichst konsequent durchzuführen, da dieselbe eine beträchtliche Ausbeute an Neuem verheisst. Es fragt sich, in welcher Form dies zu geschehen habe. Denn das, was wir in dem vorliegenden Buche in dieser Richtung thun konnten, hat uns doch nur zu den äusseren Umrissen gelangen lassen. Der Gedanke liegt nahe, dass es am besten sein möchte, das ganze Gebiet, Paar um Paar, Kette um Kette, vollständig durchzuarbeiten, also die „synthetische Kinematik“ als Lehrgegenstand oder als Aufgabe eines besonderen Werkes zu bezeichnen. Ich halte indessen diesen Weg nicht für den richtigen. Vielmehr scheint es mir angemessener, in der „angewandten Kinematik“ die Mechanismen, welche nach den Bedürfnissen der Anwendung geordnet werden mögen, sowohl analytisch als synthetisch zu behandeln. Die Synthese soll hier, wie es mir am richtigsten scheint, eines der Untersuchungsmittel, nicht aber der Kanon der Behandlung der Aufgaben sein; sie soll mit und neben den übrigen Methoden dazu gebraucht werden, über jeden Gegenstand das erwünschte Licht zu verbreiten.

Eine andere Bemerkung aber drängt sich hier noch auf. Neben dem befriedigenden Gefühle, welches die gewonnene Ueberzeugung gibt, dass wir nicht ins Grenzenlose hinaus arbeiten, wenn wir Kinematik treiben, könnte sich der entgegengesetzte zweifelnde Gedanke einschleichen, ob nicht der Stoff, nach dem neuen Prinzip behandelt, bald wissenschaftlich erschöpft sein werde, ob nicht das Gebiet, einem stark belegten Bergwerk ähnlich, demnächst wissenschaftlich abgebaut sein werde. Diese Frage ist um so berechtigter, je mehr wir andererseits Nachdruck auf die Vereinfachung, zu welcher wir uns durchgearbeitet haben, legen. Allein auch diese Besorgniss ist zu verscheuchen.

Die klare Höhe, auf welche die Synthese uns hingeführt hat, gestattet uns, weithin, vorwärts und rückwärts, das durchforschte Gebiet wie seine noch unerforschten Theile zu überblicken. Und da sehen wir denn die reichste, ja eine unerschöpfliche Fülle von Problemen sich dem strebsamen Geiste darbieten. Zeigte doch schon der kurze Versuch, den wir vorhin beim Planetenräderwerk

machten, dass der Bereich der zusammengesetzten Ketten noch an tausend Stellen der Aufschliessung harrt. Und dennoch ist hier nur der abstrakte Mechanismus aus starren Elementen betrachtet worden. Substituiren wir den letzteren an den geeigneten Stellen die bildsamen Elemente, als welche die zu bearbeitenden Körper in die Maschine eintreten, behaftet mit allen den zu berücksichtigenden Eigenthümlichkeiten, welche die Natur über ihre Schöpfungen ausschüttet, so sehen wir eine Mannigfaltigkeit der Forderungen uns entgegentreten, welcher das abstrakte Schema erst nach immer neuer Durcharbeitung gewachsen sein kann. Dem gegenüber, also vor der Praxis mit ihren zahllosen Forderungen, weicht die graue Skepsis alsbald wieder dem wohlthuenden Bewusstsein, welches die Erkenntniss der inneren Einfachheit unserer Hilfsmittel gewährt. Wir sehen uns gestärkt durch die Ueberzeugung, dass das Viele, welches geleistet werden soll, mit wenig Mitteln geleistet werden kann und dass die Gesetze, nach welchen dies zu geschehen hat, unserer Erkenntniss offen liegen.

Hier bin ich, zu guterletzt, bei einem Punkte angelangt, welchen ich in der Einleitung schon berührte, und über welchen bereits dieses ganze Kapitel, ohne das Ding beim Namen zu nennen, gehandelt hat. Es ist die Frage wegen des Erfindens der Mechanismen. Was ich darunter verstanden habe, wenn ich sagte, dass das Erfinden von Mechanismen künftig auf wissenschaftlichem, insbesondere auf synthetischem Wege ausführbar sein werde, ist in dem Vorangegangenen erläutert, und die Behauptung, wie ich glaube, auch in jeder Beziehung bewiesen worden. Freilich erleichtert die kinematische Synthese das Finden von Mechanismen nur für denjenigen, welcher den Gegenstand wissenschaftlich erfasst hat, steckt dem Suchenden aber zugleich die Ziele weiter und höher. Die kinematische Synthese bewirkt also nicht sowohl ein Herabdrücken der Geistesarbeit des Erfinders, als eine Hebung derselben, eine Klärung seiner Anschauungen, sowohl hinsichtlich der ihm zu Gebote stehenden Mittel, als der damit zu verfolgenden Zwecke und der sich der Aussicht eröffnenden Endziele.

ANMERKUNGEN.

[1] (S. 7.) Dieser Brief ist datirt vom 30. Juni 1874; andere, über denselben Gegenstand vor der Spezifikation handelnde, gehen bis zum 22. Juli 1784. Die Spezifikation selbst aber ist datirt vom 28. April desselben Jahres. Dieser Widerspruch bei Muirhead sei hiermit zur Aufklärung empfohlen.

[2] (S. 11.) Durch 113 Kapitel ziehen sich die Umschreibungen hin, durch welche das bezeichnet werden soll, was wir eine Wasserpumpe nennen. Z. B. Kap. L: Cette cy est une sorte de machine, par laquelle facilement et sans point de bruit l'on peut faire monter l'eau d'une fontaine ou d'un fleuve à une proportionnée haulteur. ... Kap. XVII: Ceste autre façon de machine, par laquelle l'on faict pareillement monter l'eau d'un lieu bas en hault, ... Kap. LVII: L'effect de ceste autre façon de machine est de faire monter l'eau d'un canal à une juste haulteur etc.

[3] (S. 13.) Calcul de l'effet des machines.

[4] (S. 13.) Indroduction à la mécanique industrielle. Vergleiche übrigens §. 129, Kap. XII dieses Buches.

[5] (S. 14.) Vor der Strenge des philologischen Richterstuhles kann „Kinematik“ nicht bestehen; Ampère hätte „Kinetik“ (Cinétique) sagen müssen. Eine Umkehr noch jetzt zu versuchen, hielt ich nicht für angemessen, aus zweierlei Gründen. Einmal haben sich seit nun vierzig Jahren Name und Adjektiv ausser in Frankreich auch in England (kinematics, kinematical) und Italien (cinematica, cinematico) völlig verbreitet, und sind ebenfalls bei uns vielfach im Gebrauch. Beiläufig gesagt, ist dem durch das Lateinische über das Französische geholten „Cinematik“ ohne Zweifel die aus dem Griechischen unmittelbar bezogene Form mit dem Anlaut K vorzuziehen. Gegen die Fluth der drei eingebürgerten Formen mit einem neuen, dennoch fremden Worte anzukämpfen, würde wohl vergeblich sein und nur Missverständnisse veranlassen; für unsern Hausgebrauch habe ich überdies „Getriebelehre“ vorgeschlagen und angewandt. Sodann besitzt Ampère's Vorschlag die Stütze der Autorität. Sei der kleine Schnitzer dem grossen Forscher nicht angerechnet. Bedenke der philologische Minos die Fehler in der Terminologie des metrischen Maassystems, den falsch gebildeten Namen Telegramm und andere Barbarismen, deren auch Minos selbst nicht entrathen kann, und er wird Gnade für Recht ergehen lassen.

[6] (S. 24.) Parerga II. Kap. III. §. 41, sodann Wille u. Vorst. II. Kap. XIV.

[7] (S. 35.) Die moderne technische Literatur hat das unschöne Adjektiv und Adverb „maschinell“ für den hier zu bezeichnenden Begriff eingeführt. Ich habe mich, trotzdem dasselbe leider populär geworden ist, nicht ent-

schliessen können, es hier anzuwenden. „Maschinell" ist kein kultivirter Fremdling, sondern ein halb wildes Wort; dasselbe ist nach dem blossen Gehör anderen Halbfremdwörtern nachgebildet, aber unrichtig, da die fremde Endung an einen bereits von unserer Sprache aufgenommenen, deutsch gewordenen Wortstamm angehängt ist. Solches heisst der Sprache ein Unrecht zufügen.

[8] (S. 38.) Es ist sehr merkwürdig und hätte schon bisher Anlass zum Nachdenken geben können, dass man so selten übereinstimmende Definitionen der Maschine, dieses wichtigen Erzeugnisses des menschlichen Scharfsinnes, findet. Die nachfolgenden Proben werden zeigen, wie schwankend und oft geradezu unbestimmt die bisherigen Vorstellungen von der Maschine selbst bei denjenigen waren, die die Sache doch kennen müssten.

Weisbach. „Maschinen heissen alle künstlichen Vorrichtungen, mittelst welcher Kräfte eine Wirkung äussern, verschieden von derjenigen, welche sie ohne diese geäussert haben würden." Hiernach würde ein beliebiges Geräth, z. B. eine Nadel, ein Bleistift, ein Stock, schon eine Maschine sein.

Poncelet. „Die industriellen oder technischen Maschinen haben den Zweck, gewisse Arbeiten mit Hilfe der Motoren oder bewegenden Kräfte, welche uns die Natur darbietet, zu entwickeln." Eine Erklärung voll Vorbehalt, die nur einen der Zwecke der Maschine angibt.

Bresson. „Eine Maschine ist ein Werkzeug, welches den allgemeinen Zweck hat, die Wirkung einer Kraft von deren Angriffspunkt dahin zu übertragen, wo sie wirken soll, um einen Widerstand zu überwinden, und eine Leistung auszuführen, deren Ausführung durch unmittelbar darauf zu verwendende Kräfte schwierig und zuweilen unmöglich wäre." Was ist denn ein Werkzeug? Und wie kommt ein „zuweilen" in eine wissenschaftliche Definition?

Rühlmann. Geostatik, III. Aufl. (1860). „Mit dem Namen Maschine bezeichnen wir eine Verbindung fester, beweglicher und unbeweglicher Körper zu einem starren, unveränderlichen, losen Systeme, mittelst welches Kräfte durch Abänderung ihrer Richtung und Grösse sich unter einander das Gleichgewicht zu halten vermögen." Was ein loses System sei, wird an einer frühern Stelle erklärt. Nach dieser Definition ist eine aufgehängte eiserne Kette eine Maschine, die hydraulische Presse aber wohl nicht, da das Wasser kein fester Körper ist.

Derselbe. Geostatik, II. Aufl. (1845). Fast genau wie Weisbach.

Derselbe. Allgemeine Maschinenlehre I. (1862). „Die Maschine ist eine Verbindung beweglicher und unbeweglicher (fast ausschliesslich) fester Körper, welche dazu dient, physische Kräfte aufzunehmen, fortzupflanzen oder auch nach Richtung und Grösse derartig umzugestalten, dass sie zur Verrichtung bestimmter mechanischer Arbeiten geeignet werden." Hier haben wir drei Definitionen aus einer Feder. Welcher soll man trauen?

Kaiser. „Maschinen sind Vorrichtungen, welche dazu dienen, die Wirkung von Kräften fortzupflanzen, um andere Kräfte im Gleichgewicht zu erhalten oder zu überwältigen, und Bewegungen nach bestimmten Zwecken hervorzubringen." Gilt auch z. B. von der Zugleine eines Schiffes.

Schrader. „Eine Maschine ist eine Vorrichtung zur Abänderung einer gegebenen Kraft." Kurz und bündig, dennoch schwer zu verstehen. Was heisst eine gegebene Kraft abändern?

Wernicke. „Eine Maschine ist eine Verbindung von Körpern, die den Zweck haben, mittelst einer disponiblen Kraft irgend eine Arbeit zu verrichten.“ Hier ist wenigstens der Eingang definitorisch, die Fortsetzung allerdings geht wieder gänzlich ins Unbestimmte.

Poppe. „Maschinen nennen wir alle die künstlichen Vorrichtungen, durch welche sich Bewegungen mit Vortheil hervorbringen, unterhalten und nach bestimmten Richtungen hin verpflanzen lassen.“ Was hat der „Vortheil“ mit der Wissenschaft zu thun? Auch lassen sich doch durch „Vorrichtungen“ keine Bewegungen hervorbringen u. s. w. u. s. w.

Delaunay. Analytische Mechanik (1868). „Maschinen sind Apparate, welche dazu dienen, die Arbeiten der Kräfte zu übertragen, *oder auch:* eine Kraft auf einen Punkt wirken zu lassen, der nicht in ihrer eigenen Richtung liegt.“ Wiederum nur Eigenschaften, keine Erklärung und feste Bestimmung, dazu das fatale „„oder auch““.

Willis. „Eine Maschine ist ein Instrument, mit welchem man irgend ein Verhältniss zwischen den Bewegungen zweier Stücke hervorbringen kann.“ Eine Gleichung mit zwei Unbekannten könnte man diese Definition nennen. Sie hat auch Willisens Nachfolger nicht befriedigt, wie das Folgende zeigt.

Giulio. „Maschine nennt man jede Vorrichtung, welche bestimmt ist: Bewegung durch die Wirkung eines Motors zu empfangen, diese Bewegung abzuändern, und so abgeändert auf ein Instrument zu übertragen, welches geeignet ist, irgend eine Arbeit auszuführen.“ Gibt Eigenschaften der Maschine an, nicht aber was die Maschine ist.

Laboulaye. „Man gibt den Namen Maschine jedem Körpersystem, welches dazu bestimmt ist, die Arbeit der Kräfte zu übertragen“ (auch chemischer Kräfte?) „und in Folge dessen sowohl die Kräfte selbst in Bezug auf ihre Intensität abzuändern, als die hervorgerufene Bewegung hinsichtlich ihrer Geschwindigkeit und Richtung mit Rücksicht auf das zu erreichende Ziel umzugestalten.“ Was ist ein Körpersystem? Und genügt es, dass ein solches zu etwas bestimmt sei? u. s. w. u. s. w.

Belanger. „Eine Maschine ist ein Körper“ (ein Körper??) „oder ein Komplex von Körpern, der die Bestimmung hat, an einem seiner Körper gewisse Kräfte aufzunehmen, und durch andere Punkte des Systems Kräfte auszuüben, welche im allgemeinen von der ersten verschieden sind, sowohl nach Intensität und Richtung, als hinsichtlich der Geschwindigkeit ihrer Angriffspunkte.“ Wiederum die „Bestimmung“! Auch ist das Ganze beschreibend, nicht definitorisch.

Haton. „Eine jede Maschine ist ein Apparat, welcher dazu bestimmt ist, einen Motor mit einem zu bearbeitenden Stoff in Beziehung zu setzen.“ Apparat, Motor, zu bearbeitender Stoff, Beziehung?? Vom logischen Standpunkte aus betrachtet, wie viele Räthsel!! *Davus sum, non Oedipus!* könnte der Hörer ausrufen.

Endlich Pierer's Universal-Lexikon (Hülsse?): „Maschine = Vorrichtung, mit welcher eine Bewegung, d. i. eine Ortsveränderung oder eine Gestaltsänderung an einem Körper hervorgebracht, also überhaupt eine Arbeit oder mechanische Leistung vollbracht wird.“ Ist nur beschreibend und passt auf eine Menge Dinge, die nicht Maschinen sind.

Der Leser wolle sich nicht darüber wundern, dass ich Namen von verschiedenem Gewicht nebeneinanderstelle, noch auch, dass ich bedeutende auslasse, wie z. B. Moseley, Redtenbacher, Jolly, Karmarsch,

Holzmann, und von den älteren Autoren Langsdorf, Eytelwein und andere. Aber diese Schriftsteller geben keine Definition der Maschine; sie weichen derselben konsequent aus und gehen geradeswegs in die Klassifikation und Beschreibung hinein. Sodann führe ich die Vielzahl der Versuche darum auf, weil sich dabei ergibt, dass ein fester Anschluss an eine Autorität nirgends stattgefunden hat.

Nicht uninteressant, weil bedeutend naiver, als die modernen, vom Wellenschlag der Erscheinungen hin- und hergeworfenen Erfassungsversuche, sind ältere Definitionen.

So sagt z. B. Leupold (Theatr. mach. 1724): „Eine Machine oder Rüstzeug ist ein künstliches Werk, dadurch man zu einer vortheilhaften Bewegung zu gelangen, und entweder mit Ersparung der Zeit oder Kraft etwas bewegen kann, so sonst nicht möglich wäre." Die bemerkenswerthe Uebersetzung „Rüstzeug" findet sich bis tief in unser Jahrhundert hinein, aber auch schon lange vor Leupold, so in Zeising's Theatr. mach. (Leipzigk, 1607), wo man auch den Ursprung des Wortes erkennt. Zeising gibt nämlich nicht eine selbstverfasste Definition, sondern nur in freier Uebersetzung diejenige des Vitruv. Letztere lautet (Lib. X. Cap. I.): „Machina est continens ex materia coniunctio maximas ad onerum motus habens virtutes." Die erste Hälfte wäre man versucht, auch heute noch für gut zu halten. Diese „continens coniunctio ex materia" sieht so aus, wie eine „zusammenhängende Verbindung von Stofflichem", also „von Körpern". Allein hier ist offenbar *materia* = Nutzholz, Bauholz, und so meint denn der alte Meister: „Ein zusammenhängendes Holzgerüst, welches vorzügliche Eigenschaften zur Bewegung von Lasten hat." „Rüstzeug" war also bei Vitruv definitorisch gemeint, nicht denominatorisch, wie Zeising und viele Nachfolger es zu gebrauchen versuchten.

Die sämmtlichen aufgeführten Definitionen haben das gemeinsam, dass sie ganz oder vorwiegend beschreibender Natur sind; das Wesentliche findet sich nur in Ansätzen. Ich möchte, indem ich diese Kritik hier ausführe, nicht missverstanden werden: es handelt sich nicht um kritische Bemängelungen, sondern um den Hinweis auf die Wichtigkeit der Sätze, mit welchen man den Grundstein einer Wissenschaftslehre legt, indem man mit der Definition ihres Gegenstandes beginnt. Vielleicht wirft man mir hier ein, dass diese Definition stets erst dann gegeben werden könne, wenn der Gegenstand selbst wissenschaftlich erforscht sei, sie demnach nur künstlich an den Anfang gelange. Dieser Einwurf ist allerdings richtig, gilt aber von jeder verwandten Definition, und muss von ihr gelten. Der Anfang muss das Ende voraussetzen. Eine Wissenschaftslehre soll nicht die Erzählung ihrer Findung sein. Der vorausgestellte, den Inhalt angebende Satz braucht auch anfänglich vom Leser durchaus nicht vollständig verstanden zu sein; im Laufe der Erklärung und Entwickelung aber veranlasst er denselben, stets wieder auf die Definition zurückzublicken, in ihr, wie in einem Brennspiegel, das Substrat der sich ergebenden Einzelsätze sich reflektiren zu lassen, bis er endlich die Bestätigung völlig und ganz erlangt hat. Allmählich wird ihm so die Definition mehr und mehr inhaltreich, und ermöglicht ihm endlich, die Gesammtheit des Erfassten in ihre enge Form zusammenzudrängen.

Aus diesem Grunde aber gibt auch umgekehrt eine unvollständige oder nur beschreibende Definition, welche an die Spitze einer Lehre gestellt ist,

ein Reflexbild von dem Stande der behandelten Wissenschaft. Die Maschine hat sich, wie sich im Verlaufe dieses Buches zeigen wird, in einem langsamen Prozesse aus den allgemeinen mechanischen Problemen herausgelöst. Vor allem ist daher dem reinen Mechaniker, welchem die Maschine nicht Hauptgegenstand, sondern nur Paradigma ist, kein besonderer Vorwurf wegen ungenauer Definirung der Maschine zu machen. Aber auch selbst dem Maschinen-Fachgelehrten erwächst ein solcher nicht, so lange seine Wissenschaft noch nicht zu festen Sätzen gelangt ist. Ich möchte in dieser Beziehung auf eine treffende Bemerkung von Mill hinweisen. Derselbe sagt (Logik. I, 1. Buch, Kap. VIII, §. 4): „Was von der Definition irgend eines Ausdrucks der Wissenschaft wahr ist, ist auch von der Definition einer Wissenschaft selbst wahr, und es muss daher die Definition einer Wissenschaft nothwendig eine vorläufige und fortschreitende sein. Irgend eine Erweiterung unseres Wissens oder eine Veränderung in den gewöhnlichen Ansichten über den Gegenstand können zu einer mehr oder weniger weitgreifenden Veränderung der in der Wissenschaft eingeschlossenen Einzelheiten führen, und wenn sich ihre Zusammensetzung auf diese Weise verändert hat, so dürfte vielleicht eine verschiedene Reihe von karakteristischen Eigenschaften leicht zu finden sein, die sich ... für die Definition des Namens der Wissenschaft besser eignen."

[9] (S. 50.) Die Wichtigkeit dieses weittragenden Satzes leuchtet dem Leser an dieser Stelle vielleicht weniger ein, als es später geschehen wird, wenn Anwendungen aufgezeigt werden können. Bis jetzt ist das darin enthaltene Gesetz völlig dunkel gewesen. Nur eine einzige ältere Spur, einen Schimmer von dem Grundgedanken habe ich bei Chasles (Geschichte der Geometrie, deutsch von Sohnke, 1839) gefunden, da wo Chasles von dem Ovalwerk des Leonardo da Vinci spricht. (Note XXXIV., S. 447 ff. und S. 626.) Den dort stattfindenden Vorgang der Feststellung eines anderen Gliedes der kinematischen Kette hält Chasles für den Ausfluss eines grossen Gesetzes der Dualität, und knüpft daran weit gehende Betrachtungen. Seine Raisonnements sind nicht genügend begründet und gehen weit in die Irre; es handelt sich hier nicht um eine Dualität, sondern um eine eigenthümliche Pluralität, welche alle Folgerungen, die Chasles mit Kunst aus der Dualität zieht, ungezwungen enthält, und ausserdem noch ungleich folgenreicher ist.

[10] (S. 75.) Es scheint hier am Platze zu sein, nochmals ganz bestimmt hervorzuheben, dass zusammengehörige Polbahnen durchaus reziprok sind, dass also keine von beiden igend eine Eigenschaft vor der andern voraus hat. Letzteres scheint nur der Fall zu sein, wenn (wie in Fig. 21) eine der beiden Bahnen festgehalten wird. Man sieht aber aus dem obigen Problem, dass dieser Unterschied im Umsehen aufgehoben werden kann, sowie man auch zu bedenken hat, dass z. B. gerade bei dem behandelten Getriebe das zweite Polbahnenpaar neben dem ersten Paare (von welchem eine der Bahnen zufällig feststeht) sich stets in der Lage befindet, dass die Bedingungen für beide Figuren dieselben sind. Die Unterscheidung, welche Poinsot zwischen „Polhodie" und „Herpolhodie" gemacht hat, und bei welcher ihn gerade der Umstand leitete, dass eine der beiden Kurven feststand, ist daher nicht durchführbar, wenigstens für die Maschinengetriebelehre nicht. Man sollte ihn auch überhaupt aufgeben, da der Unterschied kein spezifischer ist; die Unterscheidung wirkt eher verwir-

rend, als aufklärend, da sie selbst wider Willen den Gedanken aufkommen lässt, als kämen in einem beweglichen Systeme nur zwei Polbahnenpaare vor, während wir doch oben schon gleichzeitig sechs Paare vorfanden. Ein ferneres Beispiel für die Unzulässigkeit der Unterscheidung liefern Getriebe wie diejenigen, welche in §. 120 besprochen werden. Dort fallen die Polbahnen von $a:c$ und die von $b:c$ in Punkte zusammen, entziehen sich also der Betrachtung als Kurven; die Polbahnen zwischen a und b dagegen, die einzigen, welche übrig bleiben, sind bei Aufstellung der Kette auf c beide beweglich, also ununterscheidbar. Dasselbe gilt auch schon von den Gliedern a und b der Stirnräderkette, Fig. 135. Logisch ist also die Unterscheidung nicht gerechtfertigt, und was in einer Wissenschaft, namentlich in einem jüngern Zweige, nicht logisch gerechtfertigt ist, sollte man doch mit aller Sorgfalt fernhalten, beileibe aber nicht aus Bequemlichkeitsgründen einführen. Ich würde von der Sache nicht sprechen, wenn nicht auf den Vorgang Aronhold's hin, welcher die ruhende Polbahn „Polbahn", die bewegliche „Polkurve" nennt, die jüngeren Kräfte alsbald diese Bezeichnungen mit Acclamation angenommen hätten. Ich weiss aus hundertfältig sich wiederholenden Erfahrungen, dass der Studirende trotz der Abmahnung des Dozenten, keinen logischen Unterschied zwischen den beiden Namen sehen zu wollen, dies dennoch thut. Und darüber darf man sich nicht wundern, denn die Namengebung soll in den Wissenschaften logisch sein, weil sie dem Begrifflichen unausgesetzt als Anhalt dient; von dieser Ueberzeugung durchdrungen macht der Lernende nolens volens einen Unterschied zwischen zwei Dingen, welche ihm nach verschiedenen Namen entgegengebracht werden. Indem man ihm vermöge der Namengebung das rein Accidentelle wie etwas Wesentliches vorführt, wird er dazu verleitet, es dafür zu halten. Möchte man doch jetzt, wo es noch Zeit ist, zum Richtigen zurückkehren! Nur zu schnell wird ein Fehler, langsam das Gute nachgeahmt. Tritt die Nothwendigkeit ein, einmal eine unbewegliche von einer beweglichen Polbahn zu unterscheiden, so kann man ja die erstere die ruhende, die andere die bewegliche nennen; immer aber empfiehlt es sich, nicht die Idee aufkommen zu lassen, als wären die beiden Bahnen ihrem Wesen nach von einander verschieden.

[11] (S. 78.) Bei der sogenannten Evolventenverzahnung sind die Grundkreise der Evolventenbogen, von Moll und mir in der „Konstruktionslehre für den Maschinenbau" Verhältnisskreise genannt, solche sekundäre Polbahnen; das dritte Glied der Terne ist die sich auf beiden Kreisen mit Rollung bewegende geradlinige Erzeugende der Evolventenbogen.

[12] (S. 87.) Die in der Fig. 445 angegebenen Koordinaten benutzend, hat man:

$$x = \frac{\omega}{2\pi}\, s \cos\alpha - r' \sin\omega \sin\alpha,$$

wenn α den Projektionswinkel bezeichnet. Setzt man den konstanten Werth $\frac{s}{2\pi} \cos\alpha = r$, so wird:

$$x = r\left(\omega - \frac{r'}{r} \sin\omega \sin\alpha\right)$$

und ferner ist: $$y = r\left(1 - \frac{r'}{r} \cos\omega\right).$$

Diese Doppelgleichung stimmt bis auf den Faktor *sin* α mit der Cykloidengleichung überein, ohne dass indessen die Kurve etwa eine Projektion der Cykloide wäre.

Fig. 445.

Denkt man sich die beiden konzentrischen Ellipsen in der Bildebene so fortschreitend, dass die kleinere auf ABC rollt, beide sich aber in ihren Umfängen stets so biegen, dass sie in allen Stellungen ihrer anfänglichen Form kongruent bleiben, so beschreibt ein Umfangspunkt Q der äussern Ellipse die vorliegende Kurve PQR, weshalb dieselbe, wie im Text geschehen, wohl eine elliptische Cykloide genannt werden kann. Hier würden wir eine „verlängerte" elliptische Cykloide vor uns haben. Die Kurve geht in die Sinoide, die Gefährtin der Cykloide über, wenn in der Gleichung α = Null, und in die Cykloide oder Radlinie, wenn $\alpha = 90^0$ wird.

[13] (S. 90.) Der von mir gewählte Ausdruck „zwangläufig" hat rasch Aufnahme gefunden. Für den Austausch mit den romanischen Sprachen eignet sich „desmodromisch", von desmós, Fessel, und drómos, Lauf. In der italiänischen Uebersetzung dieses Werkes ist *desmodromico* angenommen.

[14] (S. 124.) S. Chasles, Geschichte der Geometrie (deutsch von Sohncke), Noten, S. 655; citirt wird dort Cardans „Opus novum de proportionibus numerorum, motuum etc."

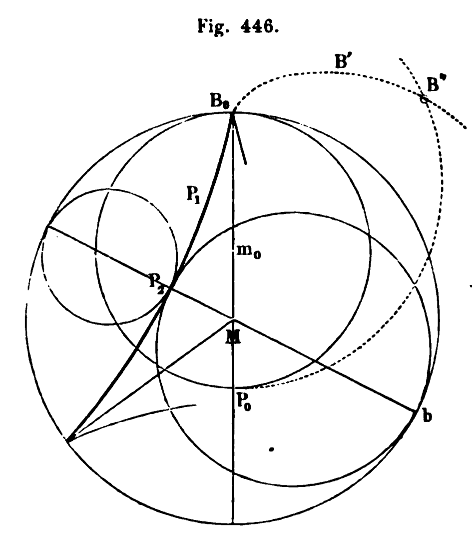
[15] (S. 125.) Ohne Benutzung eines Modells ist es sehr schwer, eine volle sinnliche Vorstellung des Vorganges zu gewinnen, wenn nicht anderweitige grosse Uebung vorausgegangen ist. An meinem Modell habe ich das Kreisbogendreieck UTQ in eine Glasscheibe eingeätzt, das Zweieck $PVQW$ in die Fläche $RPSQ$ eingravirt. Um bei Ermangelung eines Modells die Vorstellungskraft einigermaassen zu unterstützen, wandere man mit den Spitzen eines Zirkels, dem man die Oeffnung PQ gegeben, den Dreieckseiten nach; schwärzt man noch die eine Zirkelspitze, um sie von der andern deutlich zu unterscheiden, so kann man wenigstens die Bewegungen des Zweiecks im Dreieck ziemlich gut verfolgen.

[16] (S. 127.) Zur Verzeichnung der vorliegenden und ähnlicher Rollzugfiguren bediene ich mich eines besondern Dreispitzzirkels, welchen Herr Mechanikus J. Kern in Aarau (Schweiz) auf meine Veranlassung fertigt und in trefflicher Ausführung liefert. An diesem Zirkel ist der dritte Fuss seiner Länge nach veränderbar und ausserdem mit einem Knie versehen, so dass man sowohl ganz stumpfe, als ganz spitze Dreiecke in den Zirkel fassen kann, wozu der ältere Dreispitzzirkel sich nicht eignet.

[17] (S. 127.) Wie stark dieses Vorurtheil ist, zeigt u. a. eine Stelle in Weissenborn's „cyklischen Kurven" (Eisenach 1856), wo es (S. 3) folgendermaassen heisst: „Denn ist (Fig. 446 a. f. S.) der um m_0 beschriebene der wälzende, der um M beschriebene der ruhende Kreis, hat ferner der beschreibende Punkt B_0, wenn die Berührung nicht mehr in B_0, sondern in b stattfindet, das Kurvenstück $B_0P_1P_2$ durchlaufen: so muss offenbar,

wenn man jetzt den bisher beweglichen Kreis in Ruhe lässt und den grösseren in einer der früheren entgegengesetzten Richtung sich um den kleineren zurückdrehen lässt, der anfangs mit dem Punkte B_0 des kleineren Kreises zusammengefallene Punkt B_0 des grösseren dieselbe Linie $B_0 P_1 P_2$ beschreiben." Dieses „offenbar" ist eben das Vorurtheil und die Gewohnheit. Thatsächlich beschreibt B_0 die von der Hypocykloide $B_0 P_1 P_2$ sehr verschiedene Pericykloide $B_0 B' B''$, welche ich durch Punktirung angedeutet habe.

Fig. 446.



Auch für das Verständniss der Bewegung der Himmelskörper leisten die Polbahnen vorzügliche Dienste und sind geeignet, die Unklarheiten zu beseitigen, welche in den Vorstellungen von der „wirklichen" und der „scheinbaren" Bewegung gewöhnlich zu finden sind. (Lehrreiches Modell im kinematischen Kabinet der Königl. Gewerbe-Akademie. Wenn man die gewöhnlichen gäng und gäben Ansichten von diesen Bewegungen prüft, überzeugt man sich, wie wahr immer noch eine Bemerkung Poinsot's in der Einleitung zu seiner „Théorie nouvelle de la rotation des corps" ist, wo er nämlich sagt: „Mais s'il s'agit du mouvement d'un corps de grandeur sensible et de figure quelconque, il faut convenir qu'on ne s'en fait qu'une idée très obscure".

[18] (S. 130.) Vergl. Schlömilch's Zeitschrift, Bd. IX, S. 209, Durège, Ueber einige besondere Arten cyklischer Kurven.

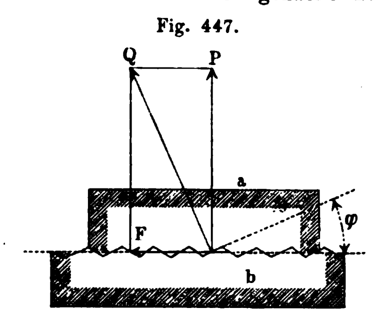
[19] (S. 138.) Quadratische Punktbahnen entstehen bei quadratischer Hohlfigur $ABCD$, wenn die Polbahn der Bogenscheibe linsenförmig ausfällt (vergleiche Figur 6). Dies geschieht aber hier, wenn QT rechtwinklig PS füllt. Dann ist aber wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke $\angle 1PQ = \angle m_1 SP$, und demnach $m_1 P = \frac{PR}{2} \cos 1PQ = PS \sin 1PQ$, oder, da $PR = PS$, $tg\, 1PQ = \frac{1}{2}$. Die Bogenscheibe ist also so zu wählen, dass die Tangente des Winkels $m_1 SP = 0{\cdot}5$, oder dass $m_1 P = 0{\cdot}5\, m_1 S$ wird.

[20] (S. 145.) Willis, Elem. of mechanism, 2. Auflage, S. 90. Der Camus'sche Satz heisst danach: Wenn man will, dass das Getriebe und das Rad sich mit immer gleichbleibender Kraft drehen, so müssen die Flanke ACH und die Wälzung CZ des Zahnes wie Epicykloiden durch eine und dieselbe Kurve erzeugt werden, welche innerhalb das Getriebes auf dem Umfang HB zu rollen hat, um die Flanke zu beschreiben, und ausserhalb auf dem Umfang ZB des Rades, um den Zahn zu profiliren etc.

[21] (S. 146.) Ann. Ph. 1706. S. 379. Lahire spricht den Satz wie folgt aus: Es ist nimmer möglich, eine Kurve zu finden, welche, auf einer gegebenen Basiskurve rollend, mit irgend einem beschreibenden Punkte, ähnlich einer Trochoide, eine gegebene zweite Kurve erzeugt, vorausgesetzt, dass die Normalen aller Punkte der zweiten Kurve die erste treffen. — Als Beispiel führt er die Erzeugung einer Geraden durch Rollung einer Kurve auf einer anderen Geraden, welche die erste schneidet, an. Als Erzeugende ergibt sich, wie bald zu übersehen, eine logarithmische Spirale, deren Pol die Gerade beschreibt. Werden die Geraden parallel, so geht die Spirale in einen Kreis über.

[22] (S. 164.) Nimmt man an, dass die Stücke a und b, Fig. 447, durch eine zu ihrer Berührungsfläche normal gerichtete Kraft P zusammengepresst werden, und die Rauhigkeiten der Oberfläche eine streng regelmässige Zähnelung vom Basiswinkel φ bilden, so leitet sich aus der Mittelkraft Q der Pressungen der sämmtlichen wirksamen Zahnflanken, welche der beabsichtigten Bewegung entgegengekehrt sind, der Widerstand P gegen die Belastung und der Widerstand F gegen die verschiebende Kraft ab. Es ergibt sich dabei $F = Ptg\,\varphi$. Man könnte hiernach aus dem durch Versuche ermittelten Koëffizienten der sogenannten Reibung der Ruhe den mittleren Erhebungswinkel der Oberflächen-Rauhigkeiten bestimmen.

Fig. 447.



Es sei bei dieser Gelegenheit verstattet, auf mehrere in der Elementarmechanik übliche ungenaue Auffassungen der Reibung hinzuweisen, welche — meiner Ansicht nach zum grossen Nachtheil des Verständnisses — fort und fort gepflegt werden.

Zunächst handelt es sich um die Auffassung, dass die Reibung nur Bewegung zu verhindern, nicht aber solche zu erzeugen im Stande sei. Dies ist die in den Lehrbüchern herrschende theoretische Anschauung. So sagt z. B. Weisbach, Theor. Mech. I (4. Aufl.) §. 167, vorerst in der Ueberschrift: „Die Widerstände der Reibung und Steifigkeit", und dann im Text: „Die Reibung tritt bei der Bewegung der Körper als eine passive Kraft oder als Widerstand (Reibungswiderstand) auf, weil sie nur Bewegungen verhindert oder hemmt, dieselben aber nie erzeugt oder befördert." Kayser, Statik §. 161, sagt: „Die Reibung kann als eine passive Kraft angesehen werden, welche bloss die Bewegung hemmt, niemals aber Bewegung verursacht oder befördert." Nicht alle sprechen sich so unumwunden aus; durchstehend ist aber die Auffassung, dass die Reibung ein „Widerstand" sei, was im Grunde alles sagt. So bei Rühlmann, dann auch z. B. in Wernicke's Mechanik, aber auch bei Moseley, bei Poncelet, ja auch Duhamel. Unter den Neueren hat selbst der scharfsinnige Ritter diese Auffassung beibehalten; überhaupt habe ich bisher eine Ausnahme von der Regel in keinem Lehrbuche gefunden. Und doch hält diese Auffassung nicht der Untersuchung auf ihre Richtigkeit Stand und steht zudem in Widerspruch mit dem Axiom von der Ursache

der Bewegungen, oder, um es schärfer auszudrücken, mit dem Gesetz von der Erhaltung der Kraft. Denn die Reibung ist eine Kraft und wird von uns als solche vereinzelt, gleichviel, ob sie, und wie sie aus anderen Kräften abzuleiten ist. Letzteres gilt ja auch von einer Unzahl anderer Kräfte. Es liegt demnach kein innerer Grund vor, bei dieser Kraft (und bei der Seilsteifigkeit, wo dasselbe Verfahren herrscht) plötzlich aus der Ordnung herauszutreten, ja gar zu behaupten, dass diese Kraft das Grundwesen der Kräfte überhaupt nicht besitze, nämlich keine Bewegung befördern oder hervorrufen könne, d. h. immer mit dem negativen Vorzeichen auftrete. Wir haben wohl hier einen Rest einer alten, ererbten Auffassung der Mechanik vor uns, aus welcher sich die wissenschaftliche Mechanik sonst allerorten theils herausgearbeitet hat, theils die Abstreifung zu vollenden bestrebt ist.

Ohne Zweifel bedarf indessen die Frage der Prüfung. Die Widerlegung der Behauptung, dass die Reibung keine Bewegung befördern könne, ist leicht, da in der Technik wie in der Natur die gegentheiligen Fälle häufig sind. Der Wind setzt durch Reibung die Wasserfläche in Bewegung; er, der Wind, wird durch die Reibung, welche bei seinem Hinstreichen über die Fläche entsteht, verzögert, das Wasser aber wird durch die Reibung beschleunigt. Der Geigenbogen setzt durch Reibung die Saite in Bewegung, und zwar in eine schwingende, die Helmholtz (Tonempfindungen S. 142) wie folgt beschreibt: „Während des grösseren Theils jeder Schwingung haftet die Saite an dem Violinbogen, und wird von ihm mitgenommen, dann reisst sie sich plötzlich los und springt schnell zurück, um sogleich wieder von einem anderen Punkte des Bogens mitgenommen zu werden.“ Der im schnellen Gang befindliche Maschinenriemen setzt, wenn auf eine stillstehende Rolle geschoben, diese unter Gleitung allmählich in Bewegung, und zwar ist die vermittelnde Kraft, welche von der Geschwindigkeit Null an bis zu denjenigen des Riemens treibend wirkt, die Reibung. Sie widersteht der Bewegung des Riemens, beschleunigt aber diejenige der Rolle. Verfeinert man die Untersuchung, so findet man sogar, dass in jedem einzelnen Falle die Reibung Bewegung sowohl verhindert, als erzeugt, geschehe letzteres auch nur in der Form von kleinen Formänderungen, welche der geriebene Körper erfährt. Hierbei braucht man nicht einmal, was man leicht könnte, auf das rein mathematische Gebiet sich zurückzuziehen und zu behaupten, dass die Verzögerung selbst auch ein Hervorrufen von Bewegung, nämlich von Bewegung mit anderen Vorzeichen ist. Die übliche Auffassung ist also sowohl praktisch, als rein wissenschaftlich genommen nicht richtig. Sie bald verbessert zu sehen, ist sehr wünschenswerth. Doch wird dies wohl nicht gerade schnell gelingen, da naheliegende Fehlschlüsse leicht auf die alte Anschauung zurückleiten.

„Jede Reibung vernichtet lebendige Kraft“, sagt Helmholtz in einem seiner ausgezeichneten „Vorträge“ (II. Heft, S. 129). Aus diesem Satz, der unbestreitbar ist, wird nur zu leicht der andere gebildet: „die Reibung vernichtet immer nur lebendige Kraft“, was ein Fehlschluss ist. Dass jede Reibung lebendige Kraft vernichtet, schliesst ja nicht aus, dass Reibung auch lebendige Kraft erzeugen könne. Ja es ist sogar davor zu warnen, den obigen richtigen Satz blind durch alle Konsequenzen führen zu wollen, indem er auch in seiner reinen Form noch zu irrthümlichen Folgerungen Veranlassung geben kann. Ein interessantes Beispiel liefert die Reibung

des Dampfkolbens in der Dampfmaschine. Der Kolben reibt sich sehr stark an den Cylinderwänden und verliert deshalb nicht unbeträchtlich an lebendiger Kraft. Dennoch gelang es z. B. dem scharf beobachtenden Hirn nicht, auch nur den kleinsten Kraftverlust, der dadurch entstände, experimentell nachzuweisen. Er selbst gibt aber den richtigen Grund an, welcher der ist, dass die Reibung des Kolbens wieder lebendige Kraft erzeugt, indem sie die Temperatur des Dampfes entsprechend erhöht. Hier vernichtet also die Reibung an der einen Seite lebendige Kraft, um sie an der anderen sofort wieder zu erzeugen, und zwar in einer solchen Form zu erzeugen, dass am Schlussresultat nichts von dem Vorgang zu merken ist. Die blosse Messung würde also den alleinstehenden Satz: „jede Reibung vernichtet lebendige Kraft" scheinbar nicht bestätigen; soll er also zur Erklärung der Reibung dienen (wozu er bei Helmholtz nicht bestimmt ist), so ist alsbald der andere Satz anzufügen: „jede Reibung erzeugt auch lebendige Kraft."

Möchten die Mechaniker sich veranlasst sehen, die logische Klarheit an dieser Stelle in ihr Recht einzusetzen, am wenigsten aber damit in den Lehrbüchern, seien es auch elementare, zu zögern. Denn je tiefer hinunter die Einbrüche in die Logik vermieden werden, um so weniger Ausbesserungsarbeiten hat man weiter oben zu machen.

Ein zweiter zu besprechender Punkt ist der von den Gesetzen der Reibung. Schlägt man ein beliebiges Lehrbuch der Mechanik ihretwegen auf, so findet man in irgend einer Form folgende drei inhaltschweren Sätze: 1) *die Reibung ist proportional dem Normaldrucke zwischen den reibenden Körpern*; 2) *sie ist unabhängig von der Grösse der Berührungsflächen*; 3) *sie ist unabhängig von der Geschwindigkeit, mit der das Gleiten stattfindet.* Dies sind im Grossen und Ganzen die Sätze von Coulomb und Morin. Nun haben aber die neueren, und keineswegs mehr ganz jungen Versuche nachgewiesen, dass die Coulomb-Morin'schen Sätze nur innerhalb sehr enger Grenzen das wirkliche Verhalten ausdrücken, dass sie insbesondere aber für diejenigen Flächendrucke und Geschwindigkeiten, welche die Maschinenpraxis gewöhnlich bietet, nicht gültig sind, dass es in ihnen vielmehr heissen müsste: *nicht proportional* und *nicht unabhängig*. Ja wir wissen, dass das praktische Maschinenwesen durch das Festhalten an den Coulomb-Morin'schen Sätzen schon hundertfältig Schaden gelitten hat, aufgehalten worden ist, sowie dass die fortgeschrittene Maschinenpraxis sich über die Sätze hinausgesetzt hat und ihre Dimensionsbestimmungen im Widerspruch mit denselben vornimmt. Sollte es da nicht endlich an der Zeit sein, die Versuche von Rennie, Hirn, Sella, Bochet u. A. aus den Anmerkungen herauszunehmen und in den Haupttext zu versetzen?! Mir scheint dies sowohl der Würde der Wissenschaft angemessen, als auch hinsichtlich der Anwendungen empfehlenswerth zu sein.

[23] (S. 197.) Lubbock (Origin of civilisation etc., London 1870) weist dies an einer so auffallend bedeutenden Reihe von namentlich sozialen Erscheinungen nach, dass die Theorie von der Einheit der menschlichen Art — nicht zu verwechseln mit der Abstammung von einem Paar — dadurch eine bedeutende Stütze gewinnt.

[24] (S. 199.) Chamisso, IV, 244, gibt folgende Beschreibung dieser und anderer Verfahrungsweisen.

„Auf den Carolinen-Inseln wird auf einem Stück Holz, das am Boden festgehalten wird, ein anderes, welches grad und wie gedrechselt, ungefähr anderthalb Fuss lang und wie ein Daumen dick sein muss, senkrecht gehalten, mit seiner stumpf abgerundeten Spitze angedrückt und zwischen den flachen Händen durch Quirlen wie ein Bohrer in Bewegung gesetzt. Die erst langsam abgemessene Bewegung wird bei stärkerem Druck beschleunigt, wenn der Holzstaub, der sich unter der Reibung bildet und rings um das bewegte sich einbohrende Holz ansammelt, sich zu verkohlen beginnt. Dieser Staub ist der Zunder, der Feuer fängt. In diesem Verfahren sollen die Weiber von Eap eine ausnehmende Fertigkeit besitzen."

„Auf Radack und den Sandwich-Inseln hält man auf dem festliegenden Holz ein anderes spannenlanges Stück mit abgestumpfter Spitze unter einem Winkel von etwa dreissig Grad schräg angepresst, so dass die Schenkel des Winkels nach sich, die Spitze von sich gekehrt sind. Man hält es mit beiden Händen, die Daumen unten, die Finger oben zum sicheren Druck aufgelegt, und reibt es sodann in dem Plane des Winkels gerade vor sich in einer zwei bis drei Zoll langen Spur hin und her. Wenn der Staub, der sich in der entstehenden Rinne vor der Spitze des Reibers ansammelt, sich zu verkohlen beginnt, wird der Druck und die Schnelligkeit verdoppelt."

„Es ist zu bemerken, dass nach beiden Methoden zwei Stücke derselben Holzart gebraucht werden, wozu etliche von gleich feinem Gefüge, nicht zu hart und nicht zu weich, die tauglichsten sind. Beide Methoden erfordern Uebung, Geschick und Geduld."

„Das Verfahren der Aleuten ist die erste dieser Methoden, mechanisch verbessert. Sie regieren das zu drehende Holzstück wie den Bohrer, dessen sie sich in ihren Künsten bedienen. Sie halten und ziehen die Schnur, die um dasselbe zweimal gewickelt ist, mit den beiden Händen, indem sich dessen oberes Ende in einem bearbeiteten Holz dreht, welches sie mit dem Munde halten. Wir sahen so Tannenholz auf Tannenholz in wenigen Sekunden Feuer geben, da sonst eine viel längere Zeit erfordert wird."

„Die Aleuten machen auch Feuer, indem sie zwei mit Schwefel eingeriebene Steine über trocknes, mit Schwefel bestreutes Moos zusammenschlagen."

Die vorstehenden Beschreibungen sind klar und verständlich, welche Eigenschaften man leider den bezüglichen Texten anderer Reisebeschreiber nicht immer nachrühmen kann. Es wäre sehr zu wünschen, dass bei den Expeditionen nach fernen Welttheilen auf möglichst objektive Beobachtung der technischen Thätigkeiten der Naturvölker Werth gelegt, und die Schilderung derselben vollständig und möglichst genau, ohne subjektive Zuthaten, gegeben würde. Die Feuerzeuge solcher Völker gehören zu den bemerkenswerthesten Geräthen derselben, da sie meist tief in dunkle Zeiten hinaufreichen und die Brücke zu anderen Geräthschaften technischer Natur bilden. Manche dieser Feuerzündungsweisen sind zwar beobachtet, aber den Fachschriftstellern entgangen. Ich führe die folgenden drei Methoden, welche mir durch mündliche Mittheilung verehrter Freunde bekannt geworden sind, in Kürze an.

Nach Herrn Jagor's Beobachtung wenden die Malayen folgendes Verfahren an. Ein fusslanges Stück trocknen Bambusrohrs wird der Länge nach gespalten, und darauf der zarte Bast, der die innere Wandung be-

kleidet, zusammengeschabt und zu einem Bällchen vereinigt in die Mitte der einen Rohrhälfte gedrückt. Darauf wird diese Rohrhälfte mit der hohlen Seite (und dem Bällchen) nach unten an den Boden gepflöckt. Von der andern Rohrhälfte spaltet nun der Feuerzünder noch so viel herunter, dass ein messerartig scharfer gerader Spahn daraus wird. Diesen nun führt er wie eine Säge oder eine Feile quer über die Mitte des festgepflöckten Stückes, nachdem er vorher vielleicht eine kleine Kerbe in dasselbe eingeschnitten hat. Letztere erweitert und vertieft sich durch das Sägen, ihre Ränder erhitzen sich aber dabei sehr stark, so dass, wenn die Kerbe die Rohrwand durchdringt, das darunter liegende Bastbällchen Feuer fängt.

Prof. Neumeyer sah in Neuholland ein verwandtes Verfahren anwenden. Statt des Bambus wird dort Holz benutzt, zu dem Bodenstück aber womöglich ein Scheit ausgesucht, welches einen Längsspalt besitzt. In diesen wird leichtentzündliches Mark oder dergleichen hineingedrückt, und darauf im übrigen wie vorhin beschrieben verfahren.

Konsul Lindau sah auf den Sandwich-Inseln folgende Feuermachung. Kleine Steinchen von einer Art, welche beim Aneinanderschlagen Funken gibt, wurden nebst einigen leicht entzündlichen Blättern in ein grösseres trocknes Blatt gethan, das wie zu einer Tüte zusammengelegt und darauf an eine Gerte gebunden wurde. Diese wurde alsdann mit besonderer Geschicklichkeit in der Luft herumgeschwungen, wobei die Steinchen sich raschelnd rieben und das Blattwerk entzündeten.

Die Frage der Feuererfindung oder -Entdeckung ist noch nicht geklärt. Peschel in seiner trefflichen Völkerkunde (1874) warnt vor zu frühzeitiger Schlussziehung aus dem geringen verfügbaren Material; Caspari (Urgeschichte der Menschheit, 1873) entwickelt ausführlich und sorgfältig die Hypothese, dass der Gebrauch des Bohrers zur Feuererfindung geleitet habe; seine Hypothese findet sich auszüglich auch wiedergegeben in Baer-Hellwald's „vorgeschichtlichem Menschen", S. 554 ff.). Hier sei auch noch auf die merkwürdigen Reste uralter Gebräuche hingewiesen, welche in der Form der Entzündung des „Nothfeuers" in Deutschland und England beobachtet worden, in der Schweiz (Appenzell) als Kinderspiel erhalten sind. Siehe Kuhn, Herabkunft des Feuers, Berlin 1859, Caspari, a. a. O. I, S. 37, Schwarz, Ursprung der Mythologie (1860), S. 142. Der von Kuhn angeführte Fall von Essede im Hannövrischen, 1828, ist seiner mündlichen Mittheilung nach nicht der einzige von ihm beobachtete geblieben. Das Anzünden des Nothfeuers geschah mit einem, gleich einer Reckstange zwischen zwei Pfosten geklemmten Rundholze, welches mittelst eines mehrmals umgelegten Strickes, an dessen Enden Männer kräftig zogen, hin- und hergequirlt wurde. In die eine der beiden Vertiefungen, welche in die erwähnten Pfosten eingearbeitet waren, war vorher etwas Werg hineingestopft, welches sich dann bei dem Quirlen entzündete.

[25] (S. 201.) Siehe Rau, Drilling in Stone without Metal, Smithsonian Report 1868. Rau hat sich für die archäologische Wissenschaft das ungeheure Opfer auferlegt, mit eigener Hand eine solche Bohrung auszuführen. Er durchbohrte mit der Rennspindel und dem oben angeführten hölzernen Schleifbohrer eine 45 mm dicke harte Dioritplatte, und zwar erzielte er zwei sich in der Mitte der Platte begegnende muldenförmige Löcher, gelangte aber erst nach zweijähriger, allerdings unterbrochener Arbeit zu

diesem Resultat. Die Form des hergestellten Bohrloches stimmt mit derjenigen überein, welche man an zahlreichen unfertigen Steinäxten aus europäischen Ausgrabungen vorfindet.

Das Berliner Museum besitzt in der ethnographischen Abtheilung mehrere vorzügliche amerikanische Arbeiten aus Bergkrystall, unter anderen einen karakteristisch geschnittenen Pferdekopf von etwa 70 mm Länge.

Wallace in seinem Buche „a Narrative of travels on the Amazone and Rio Negro" berichtet S. 278 folgendes: „Ich sah nun verschiedene von den indianischen Männern mit ihrem eigenthümlichsten und am höchsten geschätzten Schmuck — einem cylindrischen, undurchsichtigen, weissen Stein, welcher wie Marmor aussah, in der That aber mangelhaft krystallisirter Quarz war. Diese Steine sind vier bis acht Zoll lang und haben ungefähr einen Zoll Durchmesser. Sie sind rund abgeschliffen, an den Enden flach, eine sehr mühevolle Arbeit, und jeder von ihnen ist an einem Ende quer durchbohrt, um eine Schnur durchziehen zu können, vermittelst welcher der Stein um den Hals gehängt wird. Es erscheint fast unglaublich, dass sie ein Loch durch eine so harte Masse bohren können, ohne irgend ein eisernes zweckdienliches Instrument. Man gibt an, dass sie Gebrauch machen von dem zugespitzten, biegsamen Blattschössling der grossen wilden Platane, indem sie mit feinem Sand und etwas Wasser schleifen; und ich habe keinen Zweifel, dass es, wie man sagt, eine Arbeit von Jahren ist. Jedoch bedarf es gewiss einer viel längeren Zeit, um den Stein zu durchbohren, welchen der Häuptling als Zeichen seiner Herrschaft trägt, denn derselbe ist gewöhnlich von den grössten Dimensionen und wird querlaufend auf der Brust getragen, zu welchem Zweck das Loch der Länge nach von einem Ende zum anderen gebohrt wird, eine Arbeit, die, wie mir gesagt wurde, zwei Menschenalter beansprucht. Die Steine selbst werden aus grosser Entfernung oberhalb des Flusses herbeigeschafft, wahrscheinlich nahe an seinen Quellen am Fusse der Anden; sie werden daher sehr hoch geschätzt und selten kann man die Besitzer veranlassen, sich derselben zu entäussern, die Häuptlinge kaum jemals."

[26] (S. 203.) Ausführliches bei Ginzroth, Wagen und Fahrwerke der Griechen, Römer und anderer alter Völker, München 1817; auch Weiss, a. a. O. Der vierrädrige Wagen war nichtsdestoweniger im Gebrauch, vornehmlich zur Lastenführung. Er war mit festen Achsen ausgerüstet und darum weit schwerer lenkbar, als der zweirädrige. In Indien kommen heute bei den Eingeborenen vereinzelt vierrädrige Wagen mit einer Art drehbaren Vordergestells vor. Letzteres darf wohl als verhältnissmässig alt angesehen werden. Wir wissen, dass die Streitwagen des Porus nicht von den kostbaren Armeepferden, sondern von Zugochsen bis in die Nähe des Schlachtfeldes gezogen wurden; ähnliches mag überhaupt häufig geschehen sein. Koppelte man nun hierbei zwei der leeren Wagen zusammen, indem man die Deichsel des einen an dem Bügel des vorausgehenden festband, so war ein Gefähr, welches aus Vorder- und Hinterwagen bestand, gebildet. Seine grosse Lenkbarkeit musste nachgerade auffallen und mag so die Veranlassung zur absichtlichen Herstellung des drehbaren Vordergestells gegeben haben.

[27] (S. 203.) Hölzerne Streitwagen wurden vom Sieger in Ermangelung von Pferden zum Wegführen verbrannt, oder, was auch auf eiserne Anwendung findet, durch Zerschlagen eines wichtigen Theiles unbrauchbar

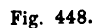
gemacht, „verlähmt", etwa wie wir Kanonen vernageln. 2. Sam. VIII, 4 heisst es: „Und David fieng aus ihnen tausend und siebenhundert Reiter und zwanzig tausend Fussvolks und verlähmte alle Wagen, und behielt übrig hundert Wagen;" ferner Josua XI, 6: . . . „ihre Rosse sollst du verlähmen, ihre Wagen mit Feuer verbrennen," und ebenda, 9: „Da that ihnen Josua, wie der Herr ihm gesagt hatte, und verlähmte ihre Rosse und verbrannte ihre Wagen." Dass die Juden übrigens den Wagen schon sehr früh kannten, geht aus 4. Mos. VII, 3 bis 8 hervor, wo sechs mit je zwei Rindern bespannte (hölzerne) Wagen besprochen werden. Die Räder der berühmten Kesselwagen Salomo's (um 1000 v. Chr.) waren ganz aus Bronze gegossen. 1. Könige VII, 33: „Und ihre Achsen, Naben, Speichen und Felgen war alles gegossen."

[28] (S. 203.) Zwei vorzüglich erhaltene antike bronzene Wagenräder, von 54 cm Durchmesser, 40 cm Nabenlänge, 7 cm Nabenweite, enthält das Museum in Toulouse, Gipsabgüsse davon das röm.-germ. Museum in Mainz. Die Räder haben fünf runde Speichen und eine tief ausgekehlte Felge, in welcher noch Nieten zur Befestigung des hölzernen Felgenkranzes stecken. Aehnliche ausgezeichnete Exemplare enthalten die Esterhazy'sche Sammlung in Wien und das Nationalmuseum in Pest; ein erhaltenes ägyptisches Wagenrad aus Holz ist in Wilkinson, *the ancient Egyptians* I, S. 383 beschrieben und abgebildet.

[29] (S. 204.) Unter den Konstruktionstheilen des Wagenrades spielte der Reif eine wichtige, entwicklungsgeschichtlich sehr bemerkenswerthe Rolle. Offenbar macht erst die metallene Gürtung das Rad fähig, schwierige Wege schnell und ausdauernd zu passiren. Zu dem aus einem Stück hergestellten eisernen Reif ist man aber erst spät gelangt. Homer spricht in der berühmten Beschreibung des Wagens der Hera (Il. V, 722 ff.) von Reifen aus Erz:

> Hebe nun fügt' um den Wagen ihr schnell die geründeten Räder,
> Mit acht ehernen Speichen, umher an die eiserne Achse,
> Gold ist ihnen der Kranz, unaltendes, aber darauf sind
> Eherne Schienen gelegt, anpassende, Wunder dem Anblick.

Die letzten Worte deuten auf die Schwierigkeit des Aufbringens der „anpassenden" Reifen (in Segmenten?) hin. Dass diese aus Erz bestehen, schliesst nicht aus, dass nicht auch eiserne Reifen im Gebrauch gewesen seien. Assyrische und altpersische Reliefs stellen vielfach Wagen dar, meist mit glattem, kaum vom Felgenkranz unterschiedenem Reif. Sehr bemerkenswerth sind die vereinzelt vorkommenden Reifen mit kleinen perlförmigen Erhöhungen, vergl. Fig. 448. Professor Lindenschmidt in Mainz, der mich auf diese Besonderheit aufmerksam machte, löste zugleich das Räthsel. Die Erhöhungen sind Nagelköpfe. Der ganze Ringbeschlag besteht aus Nägeln, welche in dichter Reihe, so dass die breiten Köpfe einander schuppenartig decken, in den Holzkranz eingeschlagen sind. Unter den süddeutschen Gräberfunden gehören zu den nicht seltenen wohl-


Fig. 448.



erhaltene eiserne Radreifen, immer paarweise vorkommend, gegen 1 m und darüber hoch, offenbar die nach der Vermoderung des Holzes übrig gebliebenen Reste der dem Todten mit ins Grab gegebenen Räder seines Wagens. Diese Reifen aber zeigen nach innen gehende radiale Stacheln, und aussen die erwähnte schuppenförmige Umfläche. Sie sind, wie die nähere Untersuchung erwies, die zusammengerosteten Nägel des Ringbeschlages. Schöne Exemplare enthält die Sammlung in Sigmaringen. Hier haben wir also offenbar die Vorstufe zu dem aus einem Stück gebildeten Radreifen vor uns.

Eine Bestätigung der Ansicht Lindenschmidt's glaube ich in dem Modelle eines zweirädrigen chinesischen Karrens gefunden zu haben, welchen die Wiener Weltausstellung brachte. Die Reifen sind hier allerdings aus Eisen geschmiedet und aufgezogen. Sie sind aber sehr schmal und äusserlich perlschnurartig tief eingekerbt. Mir scheint, dass hier die traditionelle Schuppenform als auf den festen Reif übertragen anzusehen ist. Die Kerbung ist Stilform. Gewohnheit und Herkommen legten Werth auf eine äussere Form, obgleich diese bei der neuen Herstellung zwecklos wurde, ein Vorgang, der sich bei Stilformen aller Art vorfindet. — Es sei noch bemerkt, dass auch das grosse Mosaikbild aus Pompeji, die Alexanderschlacht genannt, an dem persischen Wagen im Mittelgrund den Nägelbeschlag der Radfelgen darstellt.

[30] (S. 204.) Nach Herrn Detring's eigener Beobachtung, wonach denn das Scheibenrad des Plaustrums auf dem ganzen Erdenrund als Stufe im Wagenbau anzutreffen ist.

[31] (S. 205.) Im Sanskrit heist der Wagen *ratha*.

[32] (S. 205.) Man denke an die Beförderung der Säulen für den Tempel der Artemis in Ephesos, wovon Vitruv berichtet (X. Cap. II). Der Baumeister Chersiphron befestigte eiserne Zapfen an den Enden der walzenförmig behauenen gewaltigen Blöcke, und legte einen Holzrahmen, der die entsprechenden Lagerhöhlungen besass, darauf. An diesen Rahmen wurden die Zugthiere gespannt und mit deren Hilfe die Säulen, unseren Strassenwalzen ähnlich, vom Steinbruch nach dem Bauplatze hingerollt, demselben Bauplatze, welcher jetzt wieder ausgegraben ist und uns an den mächtigen Säulenschäften des Chersiphron die Zweckmässigkeit seines Verfahrens hat verständlich werden lassen.

[33] (S. 205.) Durch gelungene Nachversuche hat man erwiesen, dass scheinbar stumpfe, aber krystallinische Kanten zeigende Bruchstücke harter Steine sich trefflich als Bohrer eignen.

[34] (S. 206.) Die seltene Form *tornator* findet sich bei Jul. Firmicus, Mathesis, IV. 7, wo es heisst: Facit quoque tornatores, aut simulacrorum sculptores.

[35] (S. 207.) Unter den im Berliner Museum befindlichen Gegenständen, die sicher dem alten Reiche angehörig, befinden sich mehrere, welche ganz zweifellos auf der Drehbank gefertigt sind, und demnach den Gebrauch dieser letzteren in Aegypten bis zwischen 3000 und 2000 vor unserer Zeitrechnung hinaufdatiren. Es handelt sich wiederum um Gefässe, theils aus Alabaster und Serpentin (Nr. 93 u. 88), theils aus Marmor und sogar Granit (Nr. 62 u. 100). Die Hypothese vom Zusammenhang der Drehbank mit der Töpferscheibe, die zu jener Zeit, wie die Museums-Sammlung ebenfalls nachweist, schon Vorzügliches lieferte, erscheint dadurch abermals gestützt.

[34] (S. 210.*) Vergl. Böckler, Theatrum mechanicum novum, Nürnberg 1762, Tafel 35, 36 und 80. In dem ganzen Werke, auf 154 Tafeln, kommt kein offener Riementrieb der heutigen Art vor, auch nicht in Rosberg's „Kunstlichem Abriss etc., Nürnberg 1610." Schnur- oder Seiltriebe mit zwei, drei oder vier Umwindungen der Rolle finden sich bei Ramelli, Artef. mach., Paris 1588, Tafel 171, 175, 183.

[35] (S. 212.) Muster von antik-ägyptischen Spindeln im Berliner Museum. Wilkinson, der in seinen „ancient Egyptians" die Berliner Spindeln auch anführt, setzt ihnen in Fig. 385, 1 bis 5, Bd. II. drei Abbildungen von Kunkeln oder Spinnrocken und Theilen von solchen bei, welche er irrthümlich auch für Spindeln hält. Wahrscheinlich hat er sich durch eine Notiz in dem älteren Kataloge täuschen lassen.

[36] (S. 215.) „Das Wort Schaduff oder Schâdûf kommt von der Wurzel schadf her, welche nach einer Seite abwärts hängen bedeutet: Die betreffende Berieselungsmaschine heisst wohl so, weil ihr Schwengel in der Ruhelage sich immer nach der durch den Stein beschwerten Seite neigt. In Syrien findet sich die Maschine nicht; ich habe sie nur in Aegypten gesehen". (Briefliche Mittheilung von Dr. Wetzstein.) Hiernach könnte man Schaduff mit Schiefbaum übersetzen. Nach Descr. de l'Egypte XVIII. 2, S. 539 ff. würde der Schaduff auch Delû (deloû) genannt, an Kanalabzweigungen sehe man oft dreissig bis fünfzig Schadüffe vereinigt.

[37] (S. 220.) Dieses Bestreben gibt sich bei wenig kultivirten Völkern auch heute noch lebhaft kund. Baron v. Korff sah, wie er mir mittheilte, in Aegypten einen Büchsenmacher mit beiden Händen bei seiner Eisenarbeit beschäftigt, während er mit den Füssen eine Säge zum Schneiden von Schafthölzern bewegte. Tatarische Männer wie Frauen legen bei ihren häuslichen Arbeiten selten den grossen bogenförmigen Stickrahmen aus der Hand. Auch braucht man nur an den europäischen Strickstrumpf zu denken, um die Reihe als bis zu uns fortgesetzt zu erkennen.

[38] (S. 225.) Spanisches Wort, vom arabischen nā-'ūrah, so genannt von dem schnaubenden Laut, den das Ausgiessen der Kübel vernehmbar macht; na'ara schnauben (Heyse). — Vitruv kennt auch bereits solche Räder, welche überdies schon zu seiner Zeit von hohem Alter waren, (X. Cap. V. [vulgo X.]): ... Circa eorum frontes affiguntur pinnae, quae cum percutiuntur ab impetu fluminis, cogunt progredientes versari rotam, et ita modiolis aquam haurientes et in summum referentes sine operarum calcatura, ipsius fluminis impulsu versatae, praestant quod opus est ad usum.

[39] (S. 226.) Ein Prachtexemplar dieser Maschinengattung steht in Zürich in unmittelbarer Nachbarschaft des Polytechnikums — ein Kontrast, der nicht humoristischer sein könnte. Es wäre gewiss an der Zeit, diese dem Untergang geweihten Zeugen einer vergangenen Epoche, diese Dinotherien und Mammuthe des Maschinenwesens, wenigstens durch Zeichnung für die kommenden Geschlechter festzuhalten.

[40] (S. 232.) Es scheint nicht genugsam bekannt, und sei deshalb hier angeführt, dass die Griechen den Flaschenzug bereits vollständig kannten. Die Römer empfiengen Sache und Namen von den Griechen. (Vergl. Vitruv, X. Cap. II, de machinis tractoriis.) Der dreirollige Flaschenzug hiess

---

*) Durch ein Versehen sind die Nummern 34 und 35 in den Anmerkungen zweimal zur Anwendung gekommen.

trispastos, der fünfrollige *pentáspastos*, der vielrollige überhaupt *polýspastos* (dreizügig, fünfzügig, vielzügig), Bezeichnungen, welche eigentlich besser waren als unsere. Denn die Untersuchung in §. 43 hat uns gelehrt, dass es nicht auf die Rollen, sondern auf die zwischen den Kloben ausgespannten Trümer oder Züge des Seiles ankommt. Eine blosse Leitflasche mit „fester Rolle“ nannten die Griechen *artémon*, u. s. w.

[41] (S. 233.) Wenn wir heute die Zahnräder nach zunehmenden Schwierigkeiten ihrer theoretischen Grundbegriffe ordnen wollen, so wählen wir etwa die Reihenfolge: Stirnräder, Kegelräder, Schraubenräder, Hyperbelräder. Man würde aber irren, wollte man ohne weiteres dieselbe Reihenfolge in der Geschichte ihrer Entwicklung annehmen. Thatsächlich scheinen die Zahnräder für geschränkte Achsen, also für hyperboloidische Axoide, die ältesten zu sein, überhaupt zur Idee der Zahnräder geleitet zu haben. Denn wir finden die einfachsten, nämlich aus einer Achse und radialen Speichen gebildeten Zahnräder bei uralten Wasserhebungsmaschinen, wo die Aufgabe sich aufdrängte, die wagerecht liegende Achse eines Eimerrades von einem stehenden Wellbaum aus umzutreiben; vergl. Fig. 50 in Ewbank's Hydraulic and other machines, 16. Aufl. (1870). Sodann sind die Schraubenräder für parallele Achsen, deren Erfindung die Engländer White zuschreiben, bereits bei den uralten indischen Walzen zum Auskörnen der Baumwolle (Egrenirwalzen, *roller gin*) zu finden; siehe eine Abbildung bei Leigh, Modern cotton spinning, London (1873), sowie mehrere Originalmaschinen im India-Museum in London. Ferner haben die Zahnräder für schneidende Achsen in der Form von Kronrad und Drehling bei den Mühlwerken vom Alterthume herauf bis in unsere Zeit eine grössere Anwendung und Ausbildung erfahren, als die Stirnräder. Diese sind recht eigentlich die letzten in der Reihe gewesen, sodass wir entwicklungsgeschichtlich die Reihenfolge, welche wir erwarten möchten, geradezu umgekehrt sehen, ein Wink, dass wir das praktisch und faktisch Naheliegende nicht mit dem geometrisch Einfachen verwechseln dürfen.

[42] (S. 233.) Von dem arabischen *sakai*, Wasser darreichen, bewässern; *sakkā*, der Wasserträger im Morgenlande.

[43] (S. 273.) Es ist nicht uninteressant, verschiedene Auffassungen dieses Gegenstandes mit einander zu vergleichen, weshalb hier einige Auszüge folgen mögen.

Poppe, Maschinenkunde (1821), S. 81.

„Den Hebel, das Rad an der Welle, die Rolle, die schiefe Ebene, den Keil und die Schraube begreift man zusammen unter dem Namen einfache Maschinen, einfache Rüstzeuge, mechanische Potenzen. Aus ihnen sind alle, auch die allerkünstlichsten Maschinen, zusammengesetzt. Da aber die Theorie des Rades an der Welle und der Rolle sich auf die Gesetze des Hebels, die Theorie des Keils und der Schraube sich auf die Gesetze der schiefen Ebene gründen, so brauchte man eigentlich nur zwei einfache Maschinen, den Hebel und die schiefe Ebene, anzunehmen.“

Hier ist klar und bestimmt ausgesprochen, dass alle, „auch die allerkünstlichsten Maschinen“, aus den einfachen Maschinen beständen, diese aber auf zwei zurückzuführen seien. Man höre aber, was folgt.

Langsdorf, Maschinenkunde (1826) I. S. 277.

„Schon in den älteren Lehrbüchern theilte man die Maschinen in ein-

trispastos, der fünfrollige *pentáspastos*, der vielrollige überhaupt *polýspastos* (dreizügig, fünfzügig, vielzügig), Bezeichnungen, welche eigentlich besser waren als unsere. Denn die Untersuchung in §. 43 hat uns gelehrt, dass es nicht auf die Rollen, sondern auf die zwischen den Kloben ausgespannten Trümer oder Züge des Seiles ankommt. Eine blosse Leitflasche mit „fester Rolle“ nannten die Griechen *artémon*, u. s. w.

[41] (S. 233.) Wenn wir heute die Zahnräder nach zunehmenden Schwierigkeiten ihrer theoretischen Grundbegriffe ordnen wollen, so wählen wir etwa die Reihenfolge: Stirnräder, Kegelräder, Schraubenräder, Hyperbelräder. Man würde aber irren, wollte man ohne weiteres dieselbe Reihenfolge in der Geschichte ihrer Entwicklung annehmen. Thatsächlich scheinen die Zahnräder für geschränkte Achsen, also für hyperboloidische Axoide, die ältesten zu sein, überhaupt zur Idee der Zahnräder geleitet zu haben. Denn wir finden die einfachsten, nämlich aus einer Achse und radialen Speichen gebildeten Zahnräder bei uralten Wasserhebungsmaschinen, wo die Aufgabe sich aufdrängte, die wagerecht liegende Achse eines Eimerrades von einem stehenden Wellbaum aus umzutreiben; vergl. Fig. 50 in Ewbank's Hydraulic and other machines, 16. Aufl. (1870). Sodann sind die Schraubenräder für parallele Achsen, deren Erfindung die Engländer White zuschreiben, bereits bei den uralten indischen Walzen zum Auskörnen der Baumwolle (Egrenirwalzen, *roller gin*) zu finden; siehe eine Abbildung bei Leigh, Modern cotton spinning, London (1873), sowie mehrere Originalmaschinen im India-Museum in London. Ferner haben die Zahnräder für schneidende Achsen in der Form von Kronrad und Drehling bei den Mühlwerken vom Alterthume herauf bis in unsere Zeit eine grössere Anwendung und Ausbildung erfahren, als die Stirnräder. Diese sind recht eigentlich die letzten in der Reihe gewesen, sodass wir entwicklungsgeschichtlich die Reihenfolge, welche wir erwarten möchten, geradezu umgekehrt sehen, ein Wink, dass wir das praktisch und faktisch Naheliegende nicht mit dem geometrisch Einfachen verwechseln dürfen.

[42] (S. 233.) Von dem arabischen *sakai*, Wasser darreichen, bewässern; *sakkā*, der Wasserträger im Morgenlande.

[43] (S. 273.) Es ist nicht uninteressant, verschiedene Auffassungen dieses Gegenstandes mit einander zu vergleichen, weshalb hier einige Auszüge folgen mögen.

Poppe, Maschinenkunde (1821), S. 81.

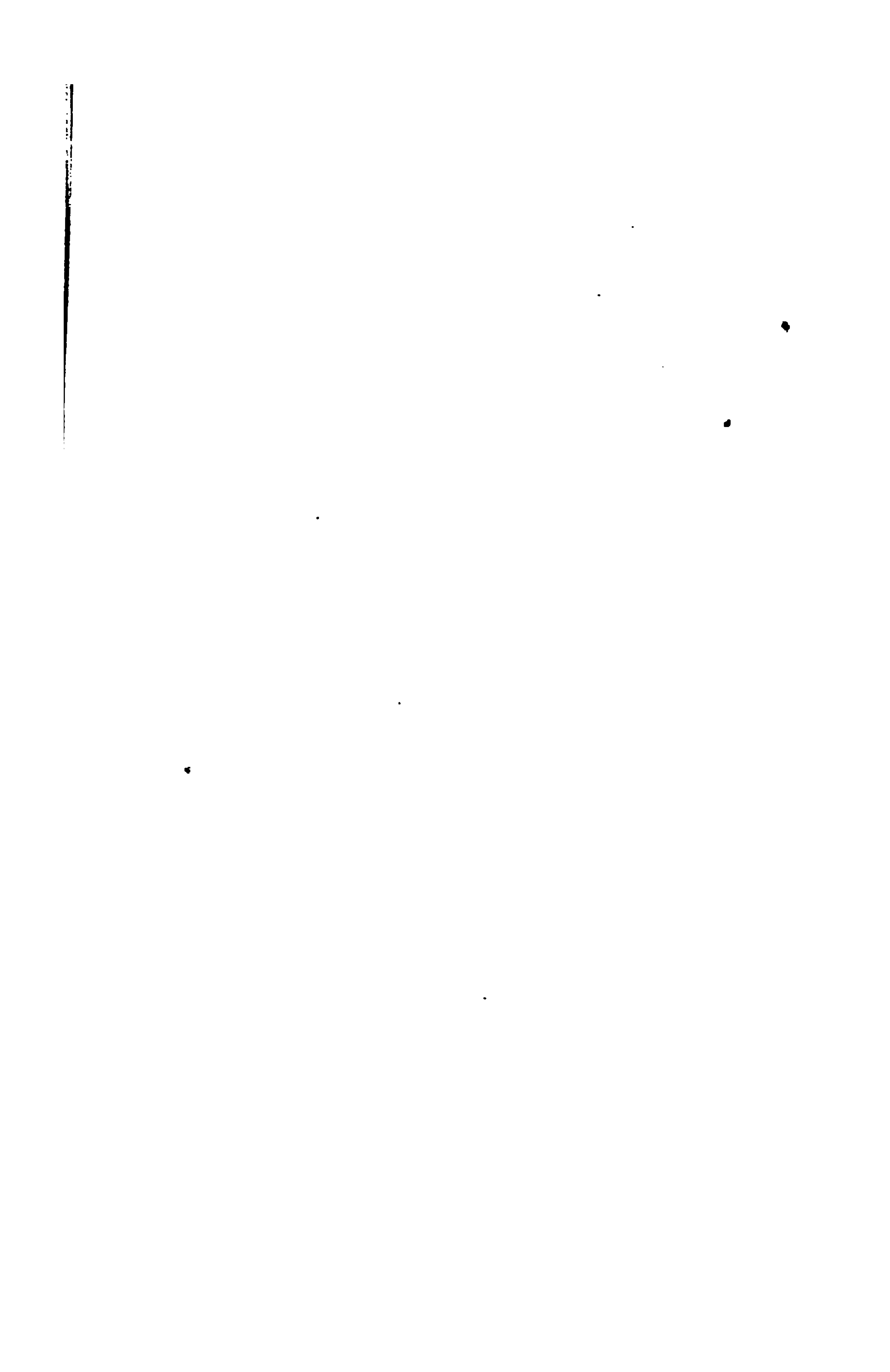
„Den Hebel, das Rad an der Welle, die Rolle, die schiefe Ebene, den Keil und die Schraube begreift man zusammen unter dem Namen einfache Maschinen, einfache Rüstzeuge, mechanische Potenzen. Aus ihnen sind alle, auch die allerkünstlichsten Maschinen, zusammengesetzt. Da aber die Theorie des Rades an der Welle und der Rolle sich auf die Gesetze des Hebels, die Theorie des Keils und der Schraube sich auf die Gesetze der schiefen Ebene gründen, so brauchte man eigentlich nur zwei einfache Maschinen, den Hebel und die schiefe Ebene, anzunehmen.“

Hier ist klar und bestimmt ausgesprochen, dass alle, „auch die allerkünstlichsten Maschinen“, aus den einfachen Maschinen beständen, diese aber auf zwei zurückzuführen seien. Man höre aber, was folgt.

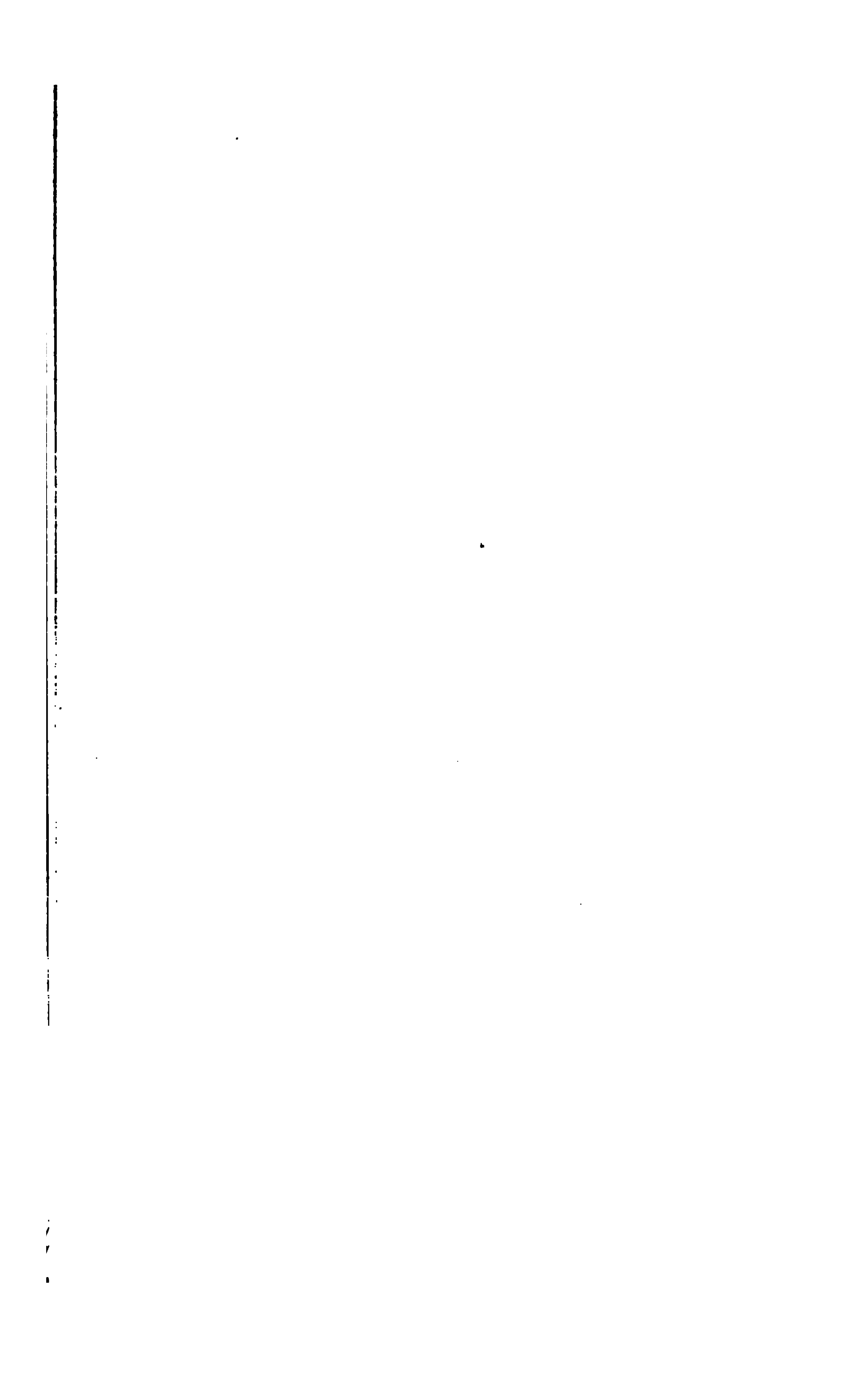
Langsdorf, Maschinenkunde (1826) I. S. 277.

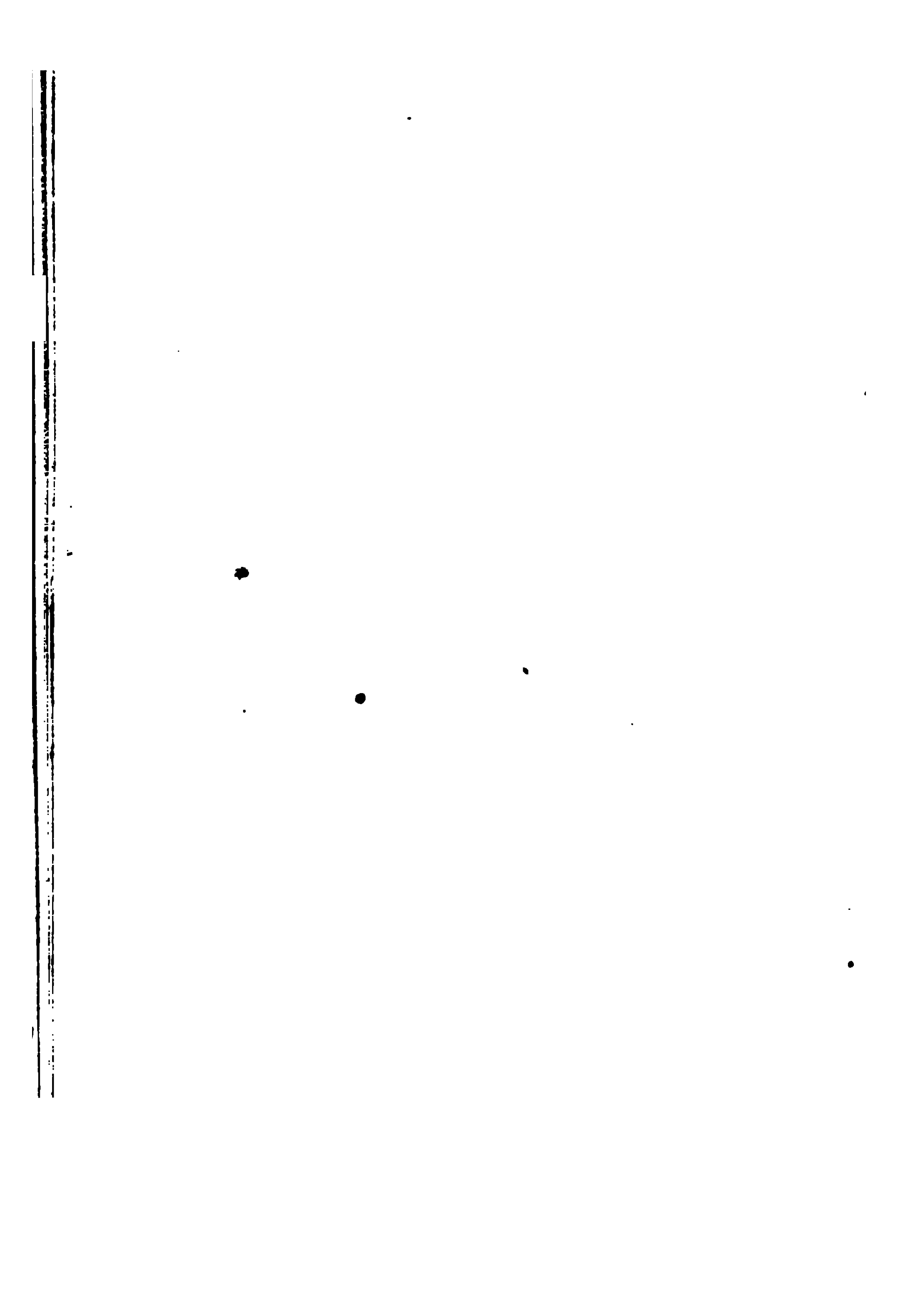
„Schon in den älteren Lehrbüchern theilte man die Maschinen in ein-

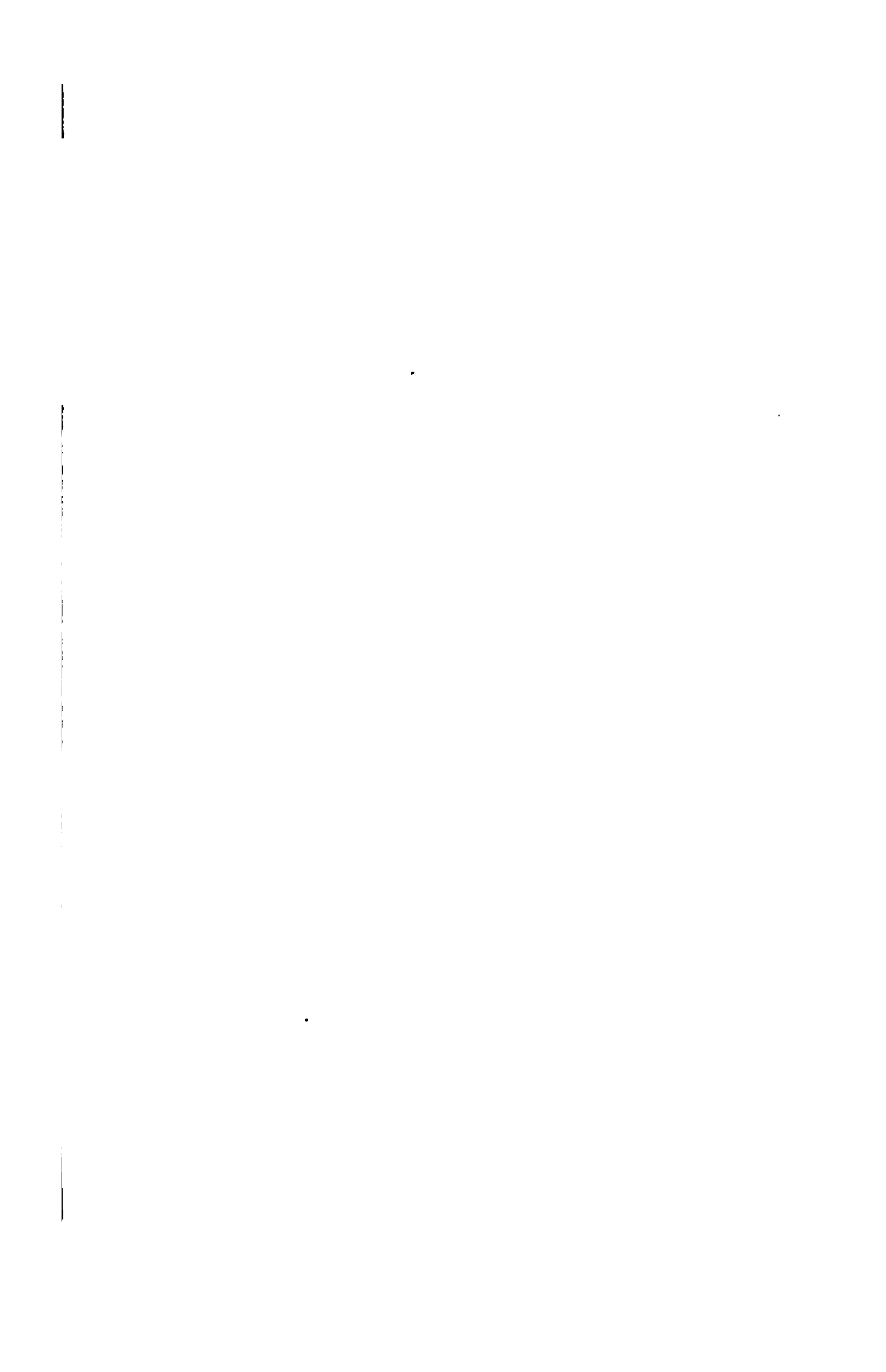


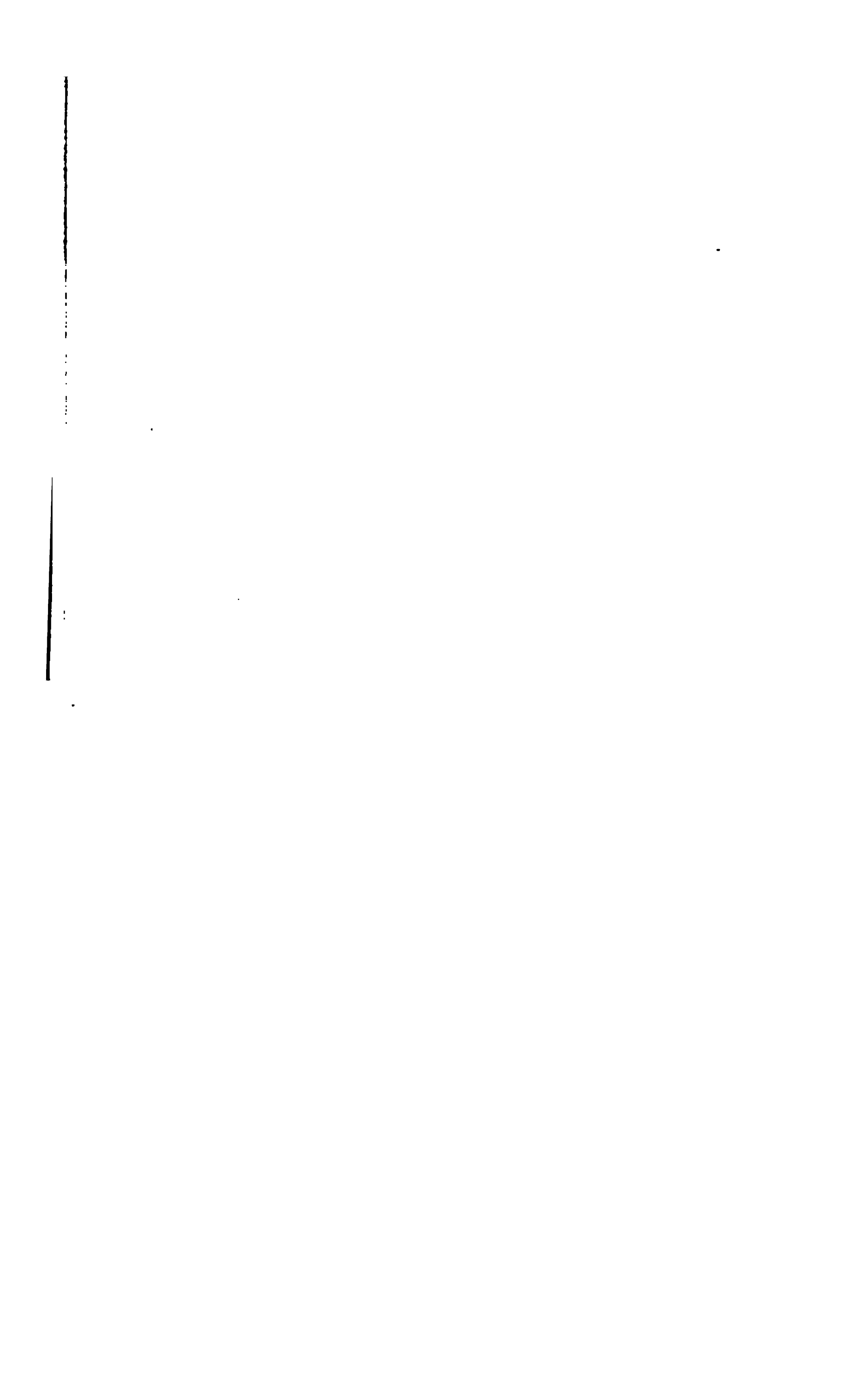




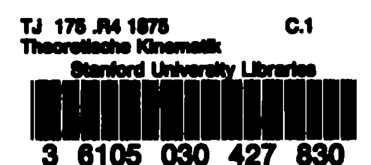











TJ 175 .R4 1875 C.1
Theoretische Kinematik
Stanford University Libraries
3 6105 030 427 830

